

УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ СПОРТСМЕНІВ РІЗНОЇ КВАЛІФІКАЦІЇ

УДК 796.325/519.2

МЕЛЬНИК А. Ю.

Харьковская государственная академия физической культуры

Анализ закономерностей движения мяча при силовой подаче в прыжке

Аннотация. Цель: изучение зависимости характеристик траектории полета мяча, которые определяют точность выполнения силовой подачи в прыжке, от значений соответствующих кинематических переменных. **Материал и методы:** анализ видеосъемки, педагогические наблюдения, математические методы обработки результатов. **Результаты:** предложен и проведен соответствующий эксперимент, данные которого были использованы для исследования закономерностей движения мяча. Проведен детальный анализ характеристик траекторий полета мяча в зависимости от выбора значений кинематических параметров таких, как скорость, высота и угол вылета мяча относительно плоскости игровой площадки в начальный момент времени выполнения подачи. **Выводы:** показано, в частности, что наиболее существенная зависимость точности выполнения подачи наблюдается от угла вылета и начальной скорости мяча.

Ключевые слова: волейбол, траектория, эксперимент, координаты, мишень, эффективность.

Введение. Современный волейбол предъявляет все более высокие требования к технико-тактическому мастерству волейболистов, а также к уровню развития их физических возможностей [6]. Спортивную технику выполнения подачи мяча в волейболе можно рассматривать как определенную систему движений, с помощью которой решается соответствующая двигательная задача. Эффективность этой техники определяется высокой координацией движений спортсмена, их стабильностью и рациональностью, что позволяет достигать значительных результатов в соревновательной деятельности. Важным элементом подхода к изучению техники является детальное рассмотрение ее кинематической структуры, которая включает определение длительности различных фаз, траектории, скорости и ускорения полета мяча и т. п. [1–3; 5; 7; 8]. Для этой цели в настоящее время широко применяются различные виды киносъемки и современные компьютерные технологии [3–5].

Большое значение для решения проблемы повышения эффективности силовой подачи в прыжке имеет изучение возможностей улучшения точности ее выполнения. Для получения надежных выводов, связанных с проблемой улучшения точности силовой подачи в прыжке, необходимо провести детальный анализ различных характеристик, определяющих траекторию полета мяча, и изучить их зависимость от соответствующих кинематических переменных. С этой целью нами был предложен и проведен эксперимент. Используя полученные данные, в работах [3; 5] были определены величины, характеризующие движение мяча после подачи, а также кинематические переменные, от которых зависит траектория его полета. Выполнена обработка полученных результатов с помощью метода средних величин, а также проведен корреляционный анализ соответствующих характеристик.

Цель исследования: изучение зависимости характеристик траектории полета мяча, которые определяют точность выполнения силовой подачи в прыжке, от значений соответствующих кинематических переменных.

Материал и методы исследования: анализ видеосъемки, педагогические наблюдения, математи-

[dx.doi.org/10.15391/snsv.2015-1.015](https://doi.org/10.15391/snsv.2015-1.015)

© МЕЛЬНИК А. Ю. 2015



ческие методы обработки результатов.

Связь исследования с научными программами, планами, темами. Исследование выполнено согласно плану научно-исследовательской работы кафедр олимпийского и профессионального спорта, кафедры спортивных и подвижных игр Харьковской государственной академии физической культуры. Направление исследования соответствует тематике Сводного плана научно-исследовательских работ в сфере физической культуры и спорта на 2011–2015 годы по направлению: «Удосконалення навчально-тренувального процесу в спортивних іграх» (номер государственной регистрации № 0111U003126).

Результаты исследования и их обсуждение. Важную роль в повышении эффективности силовой подачи в прыжке играет точность ее выполнения в определенную зону игровой площадки. В данной работе предлагается методика, позволяющая волейболистам улучшить технику такой подачи за счет соответствующей корректировки кинематических параметров ее выполнения с целью точного попадания в определенную зону. Для практической реализации этой методики нами был проведен эксперимент, схема которого представлена на рис. 1. Детали этого эксперимента описаны в работах [3; 5].

На рис. 1 изображена волейбольная площадка, на которой представлена выбранная нами система отсчета XU для фиксирования с помощью вертикальной съемки скоростной видеокамерой координат проекции центра тяжести мяча как в начальный момент времени a_0 , так и в месте его приземления a_m на площадку. Отрезок прямой, который соединяет точки a_0 и a_m , является линией пересечения плоскости, в которой проходит соответствующая траектория полета мяча в каждой отдельной подаче, с плоскостью игровой площадки. Эта линия характеризует направление полета мяча после выполнения подачи, а величина отрезка a_0a_m определяет дальность его полета.

Начальная скорость v_0 полета мяча, а также начальные координаты соответствующей проекции мяча на игровую площадку определялись нами при обработке кадров видеосъемки пространственно-временной эволюции его полета с помощью программного обеспечения Dartfish [3; 5].

В результате проведения эксперимента нами были получены данные о выполнении 55 силовых подач в прыжке в виде соответствующих координат



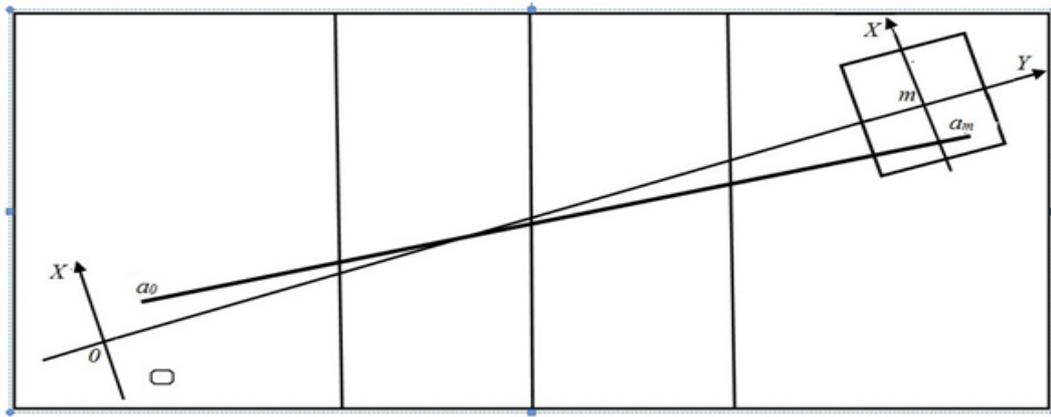


Рис. 1. Схема выполненного эксперимента (прямоугольник вблизи от начала координат – проекция видеокamеры на площадку)

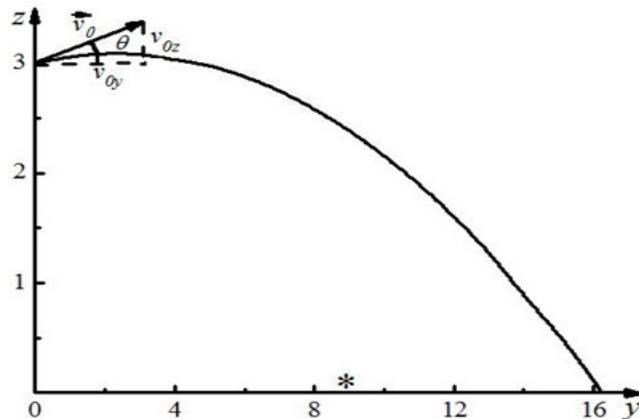


Рис. 2. Траектория полета мяча (звездочка – расположение сетки на игровой площадке)

в системе отсчета XY . В данной работе детально исследованы закономерности поведения траекторий движения мяча с использованием полученных данных. В качестве примера ниже приведем результаты такого анализа, используя соответствующие данные для выбранной нами подачи в серии попыток, выполненной волейболистом, который показал наилучший результат. Отметим, что только в результате выполнения этой подачи, мяч попал точно в мишень [5]. Для наглядности будем предполагать, что точка a_0 (рис. 1) соответствует месту удара игроком по мячу при выполнении подачи, а точка a_m – месту приземления мяча. При решении указанной задачи выберем систему отсчета, в которой ось z перпендикулярна плоскости площадки с началом координат в точке a_0 , а ось y направлена вдоль линии $a_0 a_m$.

В результате подачи центр тяжести мяча получает начальный импульс $\vec{p}_0 = m\vec{v}_0$, где m – масса мяча. Движение мяча происходит в вертикальной плоскости zy , в которой находятся векторы \vec{v}_0 и $\vec{P} = m\vec{g}$ (сила тяжести мяча, \vec{g} – ускорение свободного падения).

В дальнейшем не будем рассматривать мяч как пространственный объект, и учитывать сопротивление воздуха. Отметим, что учет этих эффектов существенно не повлияет на закономерности движения мяча, однако может внести некоторые коррективы в численные оценки характеристик траектории его полета. В рассматриваемом случае для решения уравнений движения мяча можно получить аналитические выражения, которые упрощают проведение дальней-

шего анализа.

В начальный момент времени ($t=0$) координаты мяча $y_0=0$, а $z_0=h_0$, где h_0 – высота мяча над уровнем площадки в момент удара по нему. Ускорение мяча в любой точке полета равно \vec{g} . В рассматриваемом случае, определенная нами начальная скорость полета мяча $v_0=17,48 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Удар по мячу был выполнен игроком на высоте $h_0=3 \text{ м}$.

Проекция вектора \vec{v}_0 на оси координат z и y равны соответственно $v_{0z} = v_0 \sin \theta$, а $v_{0y} = v_0 \cos \theta$, где θ – угол вылета мяча, образуемый вектором \vec{v}_0 и осью y . Поскольку проекция вектора \vec{g} на ось y равна нулю, полет мяча вдоль этой оси является равномерным с постоянной скоростью v_{0y} . Движение мяча вдоль оси z является равнопеременным с ускорением g и начальной скоростью v_{0z} (проекция \vec{g} на эту ось равна g).

Уравнение траектории полета мяча можно записать в следующем виде:

$$z = h^* - (y - y^*)^2 g / 2v_0^2 \cos^2 \theta \cdot (1)$$

Кривая, описываемая полученным уравнением, является параболой, обращенной вершиной вверх и проходящей через точку с координатами $y=0$, $z=h_0$. Необходимо отметить, что в реальной ситуации сопротивление воздуха, которое увеличивается пропорционально квадрату скорости мяча, может несколько исказить траекторию его движения и повлиять, в частности, на дальность полета.

В уравнении (1) максимальная высота полета мяча h^* (вершина параболы) над уровнем площадки

определяется выражением $h^* = h_0 + v_0^2 \sin^2 \theta / 2g$, при этом координата y ее вершины определяется формулой $y^* = v_0^2 \sin 2\theta / 2g$. Расстояние L от начала координат до места падения мяча на площадку a_m (дальность полета) соответствует значению $z=0$. Угол вылета θ , при котором мяч попадает в точку L , можно определить из следующего уравнения:

$$(1 + \operatorname{tg}^2 \theta) gL^2 / 2v_0^2 - L \operatorname{tg} \theta - h_0 = 0. \quad (2)$$

Поскольку угол θ в эксперименте не измерялся, вычислим его, предварительно определив дальность полета мяча L (16,22 м), используя приведенные выше результаты наших измерений координат вылета мяча после подачи и места его падения. Из квадратного уравнения (2), используя значения указанных выше параметров, определим угол θ , который составляет 4,45°. Максимальная высота полета мяча после выполнения подачи $h^* = 3,093$ м достигается на расстоянии $y^* = 2,42$ м от начала координат в выбранной системе отсчета. При этом мяч пролетает над сеткой на высоте 2,46 м от уровня площадки.

Как видно из уравнения (1), характеристики траектории полета мяча при силовой подаче в прыжке зависят от трех параметров: θ , v_0 , h_0 . Представляет интерес исследовать поведение траектории полета мяча в зависимости от изменения каждого из перечисленных параметров. С этой целью соответствующие вычисления проводились в той же плоскости xy , изображенной на рис. 2. Ниже приведены результаты различных вариантов расчетов, в которых нами фиксировались значения двух выбранных параметров, а значение третьего варьировалось в некоторых пределах.

Для вариантов, в которых фиксировались значения параметров $h_0 = 3$ м, $v_0 = 17,48$ м·с⁻¹, а значения угла θ изменялись нами в некоторых пределах, были получены следующие результаты. Так, при $\theta = 9^\circ$ дальность полета мяча L значительно увеличилась и достигла 19,14 м, превысив расстояние от цели более чем на 2 м. В этом случае мяч приземляется за лицевой линией площадки. При выборе значения угла θ равного 6° $L = 17,22$ м, т. е. мяч попадает в пределы площадки, но заметно превышает расстояние до цели. При не-

значительном уменьшении угла θ по сравнению с его значением 4,45° мяч после подачи попадает в сетку.

Зависимость дальности полета мяча от значения начальной скорости v_0 исследовалось нами при фиксированных $h_0 = 3$ м и угле $\theta = 4,45^\circ$ и различных значениях v_0 . Для варианта расчетов с v_0 равными 20 м·с⁻¹ и 16,5 м·с⁻¹ дальность полета мяча составляла 18,94 м и 15,19 м соответственно. В первом случае мяч улетает за пределы площадки, а во втором – попадает в сетку.

В третьем варианте расчетов нами вычислялась при фиксированных значениях $\theta = 4,45^\circ$ и $v_0 = 17,48$ м·с⁻¹ зависимость характеристик траектории мяча от значения высоты h_0 . При выбранных значениях h_0 равных 3,15 м и 2,9 м дальность полета мяча составляла 16,58 м и 16,02 м соответственно. В результате в первом случае мяч попадал в указанную цель, а во втором – мяч попал в сетку.

Некоторые характеристики траекторий движения мяча для рассмотренных выше вариантов представлены в табл. 1 (Δh – расстояние центра тяжести мяча до верхнего края сетки над местом ее перелета). Приведенные значения Δh являются упрощенными оценками этих величин, в которых не учитывались размеры мяча.

Выводы. В работе с использованием данных о силовой подаче в прыжке, полученных в предложенном автором эксперименте, рассчитаны некоторые характеристики траекторий полета мяча в зависимости от значений кинематических переменных. Показано, что наиболее существенная зависимость дальности полета мяча до выбранной мишени, а, следовательно, и точности выполнения подачи наблюдается от угла вылета θ и скорости мяча v_0 .

Перспективы дальнейших исследований. Для получения более надежных и обоснованных выводов по результатам предложенного эксперимента необходимо исследовать также другие характеристики, определяющие точность силовых подач в прыжке, с использованием большего объема данных об их выполнении. На основании такого анализа разработать соответствующие практические рекомендации для повышения точности подачи.

Таблица 1
Характеристики траекторий полета мяча в зависимости от выбора значений кинематических переменных

| № п/п | θ (град) | v_0 (м·с ⁻¹) | h_0 (м) | L (м) | h^* (м) | y^* (м) | Δh (м) |
|-------|-----------------|----------------------------|-----------|---------|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 9,00 | 17,48 | 3,00 | 19,14 | 3,38 | 4,82 | 0,70 |
| 2 | 6,00 | 17,48 | 3,00 | 17,22 | 3,17 | 3,24 | 0,26 |
| 3 | 4,45 | 17,48 | 3,00 | 16,22 | 3,09 | 2,42 | 0,03 |
| 4 | 4,45 | 20,00 | 3,00 | 18,94 | 3,12 | 3,16 | 0,32 |
| 5 | 4,45 | 16,50 | 3,00 | 15,19 | 3,08 | 2,15 | – |
| 6 | 4,45 | 17,48 | 3,15 | 16,58 | 3,24 | 2,42 | 0,18 |
| 7 | 4,45 | 17,48 | 2,90 | 16,02 | 2,99 | 2,42 | – |

Список использованной литературы:

1. Градусов В. О. Дослідження ефективності та якості виконання подач волейболістами високої кваліфікації у змагальній діяльності / В. О. Градусов, В. К. Лісянський, А. Ю. Мельник // Педагогіка, психологія та мед.-біол. проблеми фізичного виховання і спорту. – 2011. – № 6. – С. 26–30.
2. Ивойлов А. В. Волейбол. Очерки по биомеханике и методике тренировки / А. В. Ивойлов. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 152 с.
3. Мельник А. Ю. Вивчення впливу кінематичних характеристик руху м'яча на точність силової подачі у стрибку в волейболі / А. Ю. Мельник // Проблеми і перспективи розвитку спортивних ігор і єдиноборств в вищих навчальних закладах: Сб. Х міжун. научн. конф., 6 февраля 2015 года. – Т. 2. – Белгород – Харьков – Красноярск: ХДАФК, 2015. – С. 112–114.
4. Мельник А. Ю. Исследование эффективности подачи в волейболе на основе технологии баз данных Microsoft Access / А. Ю. Мельник // Слобожанський науково-спортивний вісник. – Харків: ХДАФК, 2013. – №3. – С. 185–189.
5. Мельник А. Ю. Підвищення точності силової подачі у стрибку в волейболі / А. Ю. Мельник // Тези доповіді XIV Міжнар. наук.-практ. конференції «Фізична культура, спорт та здоров'я». – Х., 10–12. 12.2014.
6. Платонов В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В. Н. Платонов. – К.: Олимпийская литература, 2004. – 808 с.
7. Asai T. et al. Fundamental aerodynamics of a new volleyball / T. Asai et al. // Sports Technology. – 2010. – Vol. 3, №4. – P. 235–239.
8. Samson J. Biomechanical analysis of the volleyball spike / J. Samson, B. Roy // Biomechanics IB. University Park Press, Baltimore-London, Tokyo, 1976. – P. 332–336.

Стаття надійшла до редакції: 10.01.2015 р.

Опубліковано: 28.02.2015 р.

Анотація. Мельник А. Ю. Аналіз закономірностей руху м'яча при силовій подачі у стрибку. **Мета:** вивчення залежності характеристик траєкторії польоту м'яча, які визначають точність виконання силової подачі в стрибку, від значень відповідних кінематичних змінних. **Матеріал і методи:** аналіз відеозйомки, педагогічні спостереження, методи математичної обробки результатів. **Результати:** запропоновано і проведено відповідний експеримент, дані якого були використані для дослідження закономірностей руху м'яча. Проведено детальний аналіз характеристик траєкторій у залежності від вибору значень таких кінематичних параметрів, як швидкість, висота і кут вильоту м'яча відносно площини ігрового майданчика у початковий момент часу виконання подачі. **Висновки:** показано, зокрема, що найбільш суттєва залежність точності виконання подачі спостерігається від кута вильоту і початкової швидкості м'яча.

Ключові слова: волейбол, траєкторія, експеримент, координати, мішень, ефективність.

Abstract. Mel'nik A. Studying the physical laws of moving ball at the power serve in jump. **Purpose:** to study the dependence of the characteristics of the trajectory of moving ball, which determine the accuracy of the power serve in the jump, from the values of the relevant kinematics variables. **Material and Methods:** analysis of video filming, teacher observations, mathematical methods of processing the results. **Results:** the appropriate experiment, whose data were used to study the physical laws of moving ball, have been proposed and carried out. A detailed analysis of the characteristics of the ball trajectory, depending on the choice of the values of kinematics parameters such as speed, altitude and angle of moving ball relative to the playground at the initial time of performing serve, have been carried out. **Conclusions:** it is shown in particular that the precision of performing serve is substantially depended on the emission angle and the initial velocity of the ball.

Keywords: volleyball, trajectory, experiment, coordinates, target, efficiency.

References:

1. Gradusov V. O., Lisyanskiy V. K., Melnik A. Yu. Pedagogika, psikhologiya ta med.-biol. problemi fizichnogo vikhovannya i sportu [Pedagogy, Psychology and med.-Biol. problems of physical education and sport], 2011, vol. 6, p. 26–30. (ukr)
2. Ivoylov A. V. Voleybol. Ocherki po biomekhanike i metodike trenirovki [Volleyball. Essays on the biomechanics and technical training], Moscow, 1981, 152 p. (rus)
3. Melnik A. Yu. Vivchennya vplyvu kinematchnikh kharakteristik rukhu m'yacha na tochnist silovoi podachi u sribku v voleyboli : mezhdun. nauchn. konf. [Study of the influence of kinematic characteristics of the ball on the accuracy of the power feed to jump in volleyball: international exchange scientific conferences], 2015, pp. 112–114. (ukr)
4. Melnik A. Yu. Slobozans'kij nauk.-sport. visn. [Slobozhanskyi science and sport bulletin], Kharkiv, 2013, vol. 3, pp. 185–189. (rus)
5. Melnik A. Yu. Pidvishchennya tochnosti silovoi podachi u sribku v voleyboli : Mizhnar. nauk.-prakt. konferentsii «Fizichna kultura, sport ta zdorov'ya» [Improving the accuracy of the power feed to jump in volleyball: international exchange scientific conferences], Kharkiv, 10–12. 12.2014. (ukr)
6. Platonov V. N. Sistema podgotovki sportsmenov v olimpiyskom sporte. Obshchaya teoriya i yeye prakticheskiye prilozheniya [System of training athletes in Olympic sports. The general theory and its practical applications], Kyiv, 2004, 808 p. (rus)
7. Asai T. et al. Fundamental aerodynamics of a new volleyball / T. Asai et al. // Sports Technology. – 2010. – Vol. 3, №4. – P. 235–239.
8. Samson J. Biomechanical analysis of the volleyball spike / J. Samson, B. Roy // Biomechanics IB. University Park Press, Baltimore-London, Tokyo, 1976. – P. 332–336.

Received: 10.01.2015.

Published: 28.02.2015.

Мельник Аліна Юрївна: Харківська державна академія фізичної культури: вул. Клочківська 99, Харків, 61058, Україна.
Мельник Алина Юрьевна: Харьковская государственная академия физической культуры: ул. Клочковская 99, г. Харьков, 61058, Украина.

Alina Mel'nik: Kharkiv State Academy of Physical Culture: Klochkivska str. 99, Kharkiv, 61058, Ukraine.

ORCID.ORG/0000-0001-5612-0333

E-mail: alina.melnik87@mail.ru

Бібліографічний опис статті:

Мельник А. Ю. Анализ закономерностей движения мяча при силовой подаче в прыжке / А. Ю. Мельник // Слобожанський науково-спортивний вісник. – Харків: ХДАФК, 2015. – № 1(45). – С. 81–84. – dx.doi.org/10.15391/sns.v.2015-1.015

