

Определение основных рациональных биомеханических характеристик в стрельбе из лука

Адашевский В.М.¹, Ермаков С.С.², Шабашов В.А.¹

Национальный технический университет «ХПИ»¹

Харьковская государственная академия физической культуры²

Аннотации:

Цель работы – построение рациональных параметров технических действий спортсмена в стрельбе из лука. Разработана математическая модель и решена задача динамики. Определено влияние на целевую точность углов вылета стрелы с учётом и без учета силы сопротивления воздушной среды. Выделены основные технические ошибки спортсмена при выполнении упражнений. Установлено, что для успешной реализации характеристик целевой точности и минимальных значений отклонений от цели на различных дистанциях стрельбы, спортсмену необходимо обеспечить: сохранение места действия и рациональной позы, выполнение рациональных технических действий. Показаны направления выбора необходимых биомеханических характеристик, которые способен реализовать спортсмен для обеспечения целевой точности и минимальных значений отклонений от цели на различных дистанциях стрельбы.

Адашевський В.М., Єрмаков С.С., Шабашов В.А. Визначення основних раціональних біомеханічних характеристик при стрільбі з лука. Мета роботи – побудова раціональних параметрів технічних дій спортсмена в стрільбі з лука. Розроблена математична модель і вирішено завдання динаміки. Визначено вплив на цільову точність кутів вильоту стріли з обліком і без урахування сили опору повітряного середовища. Виділено основні технічні помилки спортсмена при виконанні вправ. Встановлено, що для успішної реалізації характеристик цільової точності і мінімальних значень відхилень від мети на різних дистанціях стрільби, спортсменові необхідно забезпечити: збереження місця дії і раціональної пози, виконання раціональних технічних дій. Показані напрями вибору необхідних біомеханічних характеристик, які здатний реалізувати спортсмен для забезпечення цільової точності і мінімальних значень відхилень від мети на різних дистанціях стрільби.

Adashevskiy V.M., Iermakov S.S., Shabashov V.A. Determination of main rational biomechanical characteristics in shooting from a bow. The aim is to build rational parameters of technical actions of sportsman in shooting from a bow. It is worked out and decided mathematical model and the task of dynamics. Influence on having a special purpose exactness of corners of flight of arrow with an account and without the account of force of resistance of air environment is certain. It is distinguished the basic technical run-time errors of sportsman exercises. It is set that for successful realization of descriptions of target exactness and minimum values of deviations from an aim on different distances of shooting, sportsman must provide: maintenance of scene and rational pose, implementation of rational technical actions. It is shown directions of choice of necessary biomechanics descriptions that a sportsman can realize for providing target exactness and minimum values of deviations from aim on different distances of shooting.

Ключевые слова:

стрельба, лук, биомеханический, траектория, поза, спортсмен.

стрільба, лук, біомеханічний, траєкторія, поза, спортсмен.

shooting, bow, biomechanical, trajectory, posture, sportsman.

Введение.

Эффективность выполнения технических действий спортсменом во многом зависит от выбора наиболее рациональных биомеханических характеристик. Такой подход предопределяет построение системы подготовки спортсмена на определенных ее этапах.

Важность определения и последующего выбора наиболее рациональных биомеханических параметров движений спортсмена отмечается в работах Адашевского В.М. [1, 2], Ермакова С.С. [9], Защиорского В.М. [11], Лапутина А.Н. [5, 12]. При этом рекомендуется использовать математические модели [7] движений в системе «спортмен-спортивный снаряд» [9], характеристики поз и перемещений спортсмена [9], а также учитывать траектории полета спортивных снарядов [9]. В свою очередь, для обеспечения высокого результата в стрельбе из лука необходимо учитывать большое количество факторов, которые обеспечивают максимальную целевую точность [3, 4, 6, 8, 10, 14].

Спортивный результат в стрельбе из лука (целевая точность) определяются в основном необходимыми биомеханическими характеристиками, которые способен реализовать спортсмен, а именно: начальной скоростью вылета, углом вылета, высотой выпуска стрелы [3, 6, 8, 14]. При этом начальная скорость вылета стрелы регулируется силой натяжения тетивы лука и ею можно принять постоянной, а высота выпуска стрелы мало изменяется в процессе стрельбы. Следовательно, основной характеристикой для целевой точности является изменение углов вылета. В свою

очередь для успешной реализации этой характеристики для целевой точности и минимальных значений отклонений от цели на различных дистанциях стрельбы, спортсмену необходимо обеспечить: сохранение места, сохранение рациональной позы, выполнение рациональных технических действий [6, 8, 10].

Вместе с тем, требуют уточнения некоторые изложенные выше позиции применительно к стрельбе из лука.

Исследования проводились по теме с госбюджетным финансированием М0501. «Разработка инновационных методов и методов диагностики ведущих видов подготовленности спортсменов разной квалификации и специализации» 2012-2013гг.

Цель, задачи работы, материал и методы.

Цель работы – построение рациональных параметров технических действий спортсмена в стрельбе из лука.

Результаты исследований.

Для определения биомеханических характеристик полёта стрелы необходимо составить математическую модель, решить задачу динамики, провести исследования влияния на целевую точность углов вылета стрелы с учётом и без учета силы сопротивления воздушной среды.

На рис. 1. представлена расчётная схема для исследования влияния на целевую точность угла вылета α с учётом силы сопротивления воздушной среды R_c .

Здесь V_0 – абсолютная начальная скорость вылета стрелы, G – сила тяжести стрелы, массы стрел 0.015-0.03кг для соревнований проводимых зимой и летом соответственно, h – высота выпуска стрелы, h_1 – высота

центра мишени. В нашем случае начальная скорость вылета V_0 составляет 90-100м/с. $h = 1.6\text{м}$, $h_1 = 1.35\text{м}$.

Сила аэродинамического сопротивления \vec{R} для тел, движущихся в воздушной среде плотностью ρ , равна векторной сумме $\vec{R}_c = \vec{R}_n + \vec{R}_t$ подъёмной силы $-R_n = 0.5 \cdot c_n \rho s V^2$ и силе лобового сопротивления $R_t = 0.5 \cdot c_t \rho s V^2$. При подсчёте этих сил безразмерные коэффициенты лобового сопротивления c_n и c_t определяют экспериментально в зависимости от формы тела и его ориентации в среде. Величина S (мидель) определяется значением проекции площади поперечного сечения тела на плоскость перпендикулярную оси движения, V – абсолютная скорость тела. Известно, что плотность воздуха $\rho \approx 1.3 \text{ кг/м}^3$. Средние поперечные диаметры стрел $d=0.025\text{-}0.04\text{м}$, длина стрелы 0.73 м . Необходимо отметить, что стрела, как тело, в полете имеет общий случай движения. Углы поворотов стрелы в основном в сагитальной и трансверсальной плоскостях изменяются и понятно, что изменяется соответственно величина S . Определение переменных значений миделя S и коэффициента лобового сопротивления c_t требуют основательных дополнительных исследований, поэтому при решении данной задачи примем их усреднённые значения.

Поэтому возможно определить среднее значение коэффициента k , стоящего при V^2 – абсолютной скорости полёта стрелы.

Без учёта подъёмной силы, величина которой очень мала, получим среднее значение коэффициента.

$$k = 0.5 \cdot c_t \rho s \quad k = 0.0001 \text{ кг/м.}$$

$$\text{Тогда } R_t = R_c = 0.0001V^2$$

Согласно основному уравнению динамики в векторной форме

$$m\vec{a} = \vec{P}$$

Здесь \vec{a} – ускорение стрелы, m – масса стрелы, Равнодействующая сил действующих на летящую стрелу – \vec{P} .

В проекциях на оси инерциальной декартовой системы координат основное уравнением динамики свободной материальной точки в векторной форме примет вид:

$$m\ddot{x} = P_x; \quad m\ddot{y} = P_y; \quad m\ddot{z} = P_z.$$

При движении стрелы в плоскости xAy , систему уравнений можно записать так:

$$m\ddot{x} = -R_{c_x}; \quad m\ddot{y} = -G - R_{c_y}$$

$$m\ddot{x} = -0.0001\dot{x}; \quad m\ddot{y} = -mg - 0.0001\dot{y}.$$

Решение этой задачи требует интегрирования дифференциальных уравнений движения стрелы и это можно выполнить в такой последовательности:

- выбрать декартовую систему координат, в которой удобно решать данное задание;
- изобразить в избранной системе координат стрелу в текущем положении;
- приложить к стреле соответствующие силы;
- записать основное уравнение динамики в проекциях на оси выбранной системы координат;

-определить уравнение движения. Для чего необходимо дважды проинтегрировать систему двух дифференциальных уравнений 2 – го порядка с учётом длин четырёх дистанций стрельбы;

- определить результаты попадания в мишень в зависимости от угла вылета.

Такая операция легко выполняется с помощью специального программного комплекса «КИДИМ», разработанного на кафедре теоретической механики НТУ «ХПИ».

Получим сравнительные графические зависимости целевой точности от угловых характеристик вылета стрелы с учётом и без учёта силы сопротивления воздушной среды для четырёх дистанции из 5ти выстрелов. Для каждой из дистанций изменения значений углов вылета α составили 0.1^0 - 0.2^0 для каждого выстрела. С учётом того, что расстояние между окружностями значений составляет $0.04 - 0.06 \text{ м}$ нетрудно заметить влияние изменений малых углов вылета на большие значения отклонений стрел от центра мишени, что показано на рисунках (2-5)

Анализ графических зависимостей значений целевой точности для 4х дистанций с учётом силы сопротивления воздушной среды показывает, что отклонения от центра мишени для максимальных значений изменения углов вылета $\alpha = 1.45^0, 2.1^0, 0.95^0, 0.55^0$ на 0.2^0 для каждого выстрела составили соответственно(нижний и верхний график):

- для дистанции 90м – 0.34м;
- для дистанции 70м – 0.27м;
- для дистанции 50м – 0.18м;
- для дистанции 30м – 0.13м.

Результаты при этих отклонениях равны 5,6,6,7 очкам соответственно, что значительно ухудшает суммарный результат.

Анализ графических зависимостей значений целевой точности для 4х дистанций с учётом силы сопротивления воздушной среды показывает, что отклонения от центра мишени для минимальных значений изменения углов вылета $\alpha = 1.45^0, 2.1^0, 0.95^0, 0.55^0$ на 0.1^0 для каждого выстрела составили:

- для дистанции 90м – 0.11м;
- для дистанции 70м – 0.1м;
- для дистанции 50м – 0.09м;
- для дистанции 30м – 0.07м.

Результаты при этих отклонениях равны 8,9,8,9 очкам соответственно.

На рисунке 6 показаны графические зависимости значений целевой точности для одной из дистанций 70м без учёта силы сопротивления воздушной среды.

Анализ графических зависимостей значений целевой точности для дистанции 70м без учёта силы сопротивления воздушной среды показывает, что отклонения от центра мишени для значений изменения углов вылета от $\alpha = 2.1^0$ (попадание в зону близкую к центру мишени) на 0.2^0 для каждого выстрела составили 0.5м.

- для дистанции 70м – 0.5м;

Результаты при этих отклонениях равны 2очкам соответственно. Эти результаты значительно отлича-

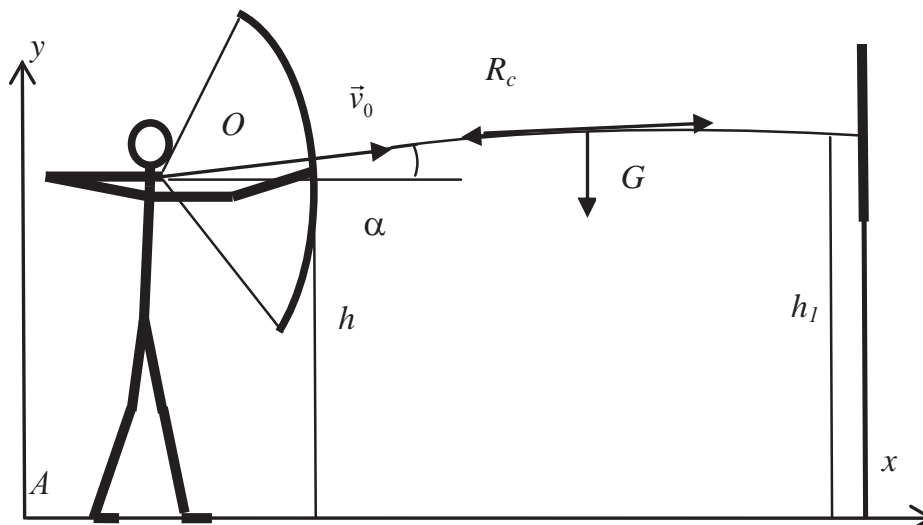


Рис. 1. Расчётная схема для исследования влияния на целевую точность угла вылета

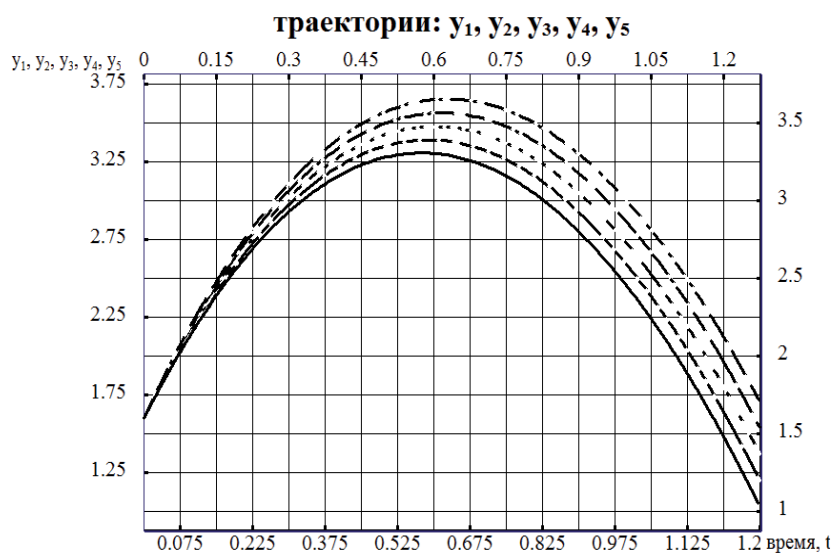


Рис. 2. Графические зависимости значений целевой точности для дистанции 90м с учётом силы сопротивления

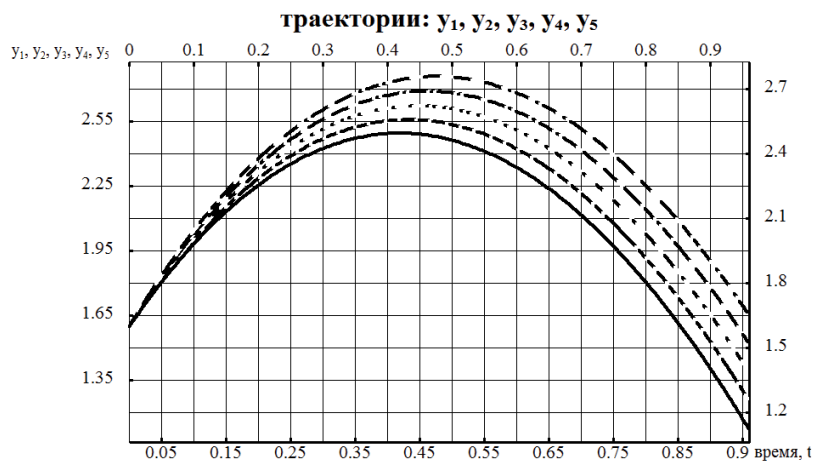


Рис. 3. Графические зависимости значений целевой точности для дистанции 70м с учётом силы сопротивления

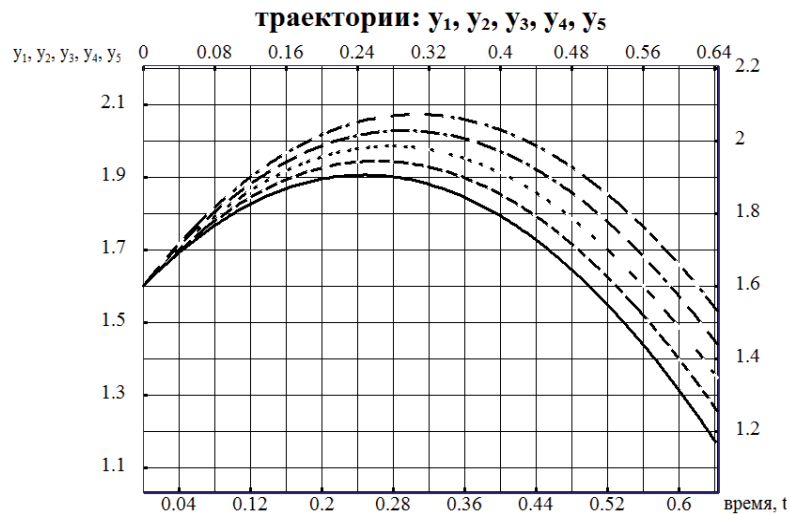


Рис. 4. Графические зависимости значений целевой точности для дистанции 50м с учётом силы сопротивления

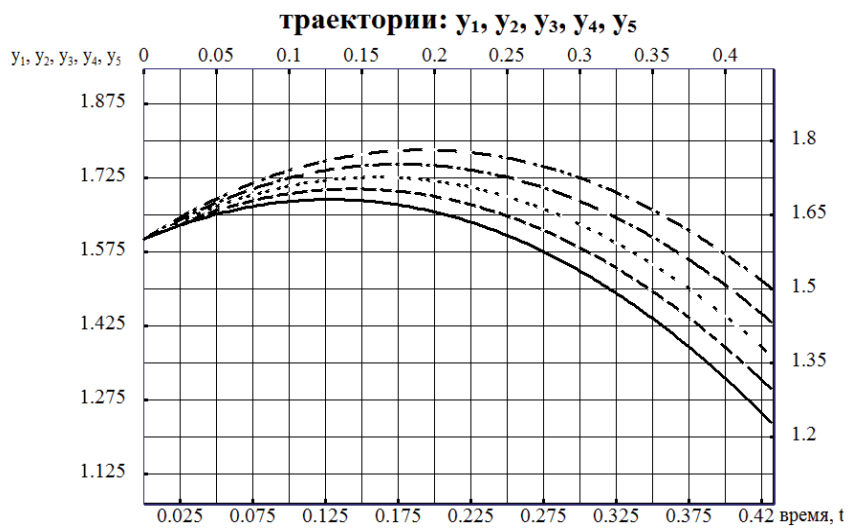


Рис. 5. Графические зависимости значений целевой точности для дистанции 30м с учётом силы сопротивления

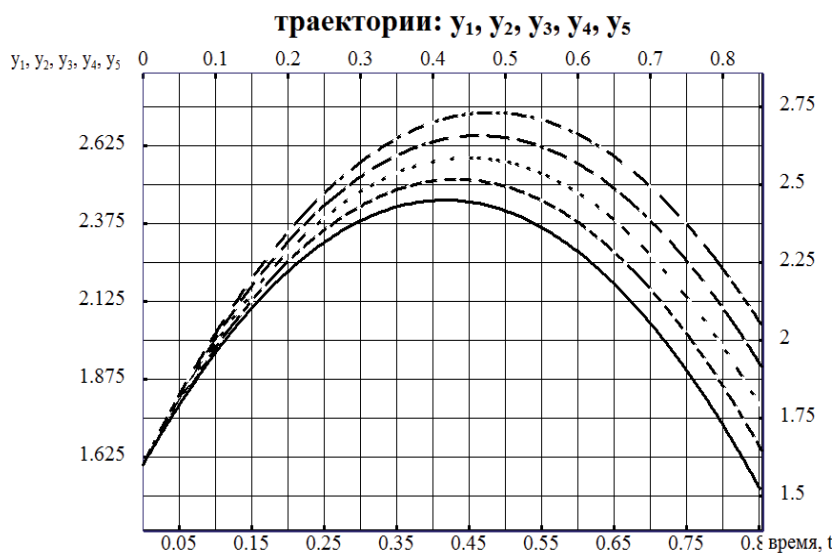


Рис. 6. Графические зависимости значений целевой точности для дистанции 70м без учёта силы сопротивления

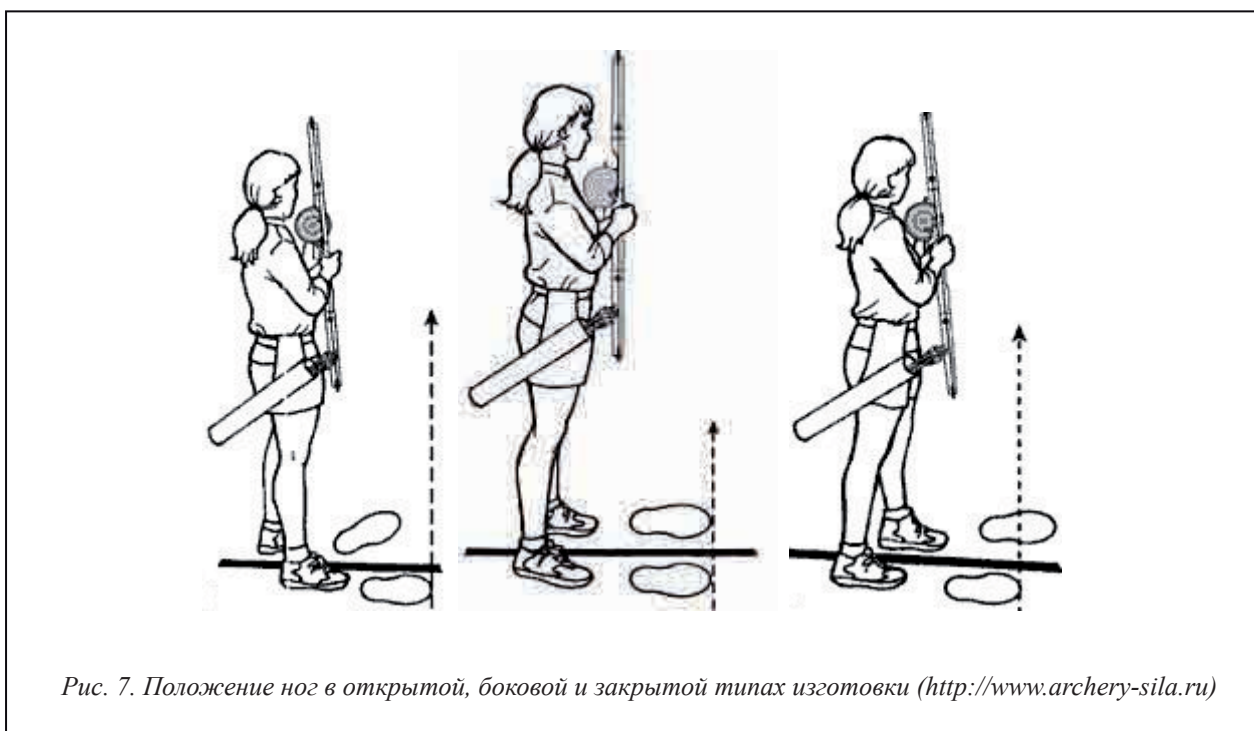


Рис. 7. Положение ног в открытой, боковой и закрытой типах изготовления (<http://www.archery-sila.ru>)

ются от реальных, поэтому в теоретических исследованиях необходимо учитывать силу сопротивления среды, особенно для больших скоростей движения объектов.

Следовательно, в теоретических исследованиях при неучтённых силах сопротивления воздушной среды для больших скоростей полёта тел результаты могут значительно отличаться от реальных при углах отклонения больших, чем 0.2° для каждого выстрела.

Такие большие отклонения от цели происходят в основном из-за распространённых технических ошибок: правый локоть расположен намного выше линии стрелы, левое и правое плечи подняты слишком высоко, левая кисть слишком глубоко обхватывает рукоятку лука и другие. Для исправления выше перечисленных ошибок рекомендуется следующая техника: открытая позиция с правой стопой, параллельной или немного повернутой к линии стрельбы, но не в другую сторону. Левая нога приблизительно под $30-40^\circ$; ноги на ширине плеч; больше напряжённости будет создано в левом колене и верхней части ноги [13, 15]. Практическая реализация обучения и коррекции движений достаточно подробно изложена в электронных пособиях (рис.) [<http://www.archery-sila.ru>].

Таким образом, используя результаты исследований графических зависимостей значений целевой точности для 4х дистанций изменения углов вылета α для каждого выстрела, возможно, выбрать необходимые биомеханические характеристики, которые способен реализовать спортсмен для обеспечения целевой точности и минимальных значений отклонений от цели на различных дистанциях стрельбы. Все это позволит при их анализе улучшить результативность с учётом конкретных физических данных и возможностей спортсменов.

Выводы:

1. Анализ специальной литературы, показал, что на целевую точность в стрельбе из лука влияют не только характеристики стрелкового оборудования, но и технико-биомеханические характеристики спортсмена.
2. Установлено, что спортивный результат в стрельбе из лука (целевая точность) определяются в основном угловыми характеристиками вылета стрелы, которые способен реализовать спортсмен.
3. Для успешной реализации этой характеристики для целевой точности и минимальных значений отклонений от цели на различных дистанциях стрельбы, спортсмену необходимо обеспечить: сохранение места действия и рациональной позы, выполнение рациональных технических действий.
4. Выбор необходимых биомеханических характеристик, которые способен реализовать спортсмен для обеспечения целевой точности и минимальных значений отклонений от цели на различных дистанциях стрельбы, позволят улучшить результативность с учётом конкретных физических данных и возможностей спортсменов, что имеет важное практическое значение.

Результаты теоретических и практических исследований могут быть использованы на соревнованиях и тренировочных занятиях в стрельбе из лука, как для спортсменов высокого уровня, так и при подготовке спортсменов-новичков.

Литература

1. Адашевский В.М. Теоретические основы механики биосистем. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – 260 с.
2. Адашевський В.М. Метрологія у спорті. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – 76 с.
3. Антонов С.В., Пітин М.П. Результативність висококваліфікованих стрільців з лука у контрольних вправах із ускладненими умовами виконання // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. 2011. №9. – С. 8-10.
4. Балов А.Ш. Основы баллистики стрельбы из лука. – М.: Военно-политическая академия – 1975. – 92 с.
5. Біомеханіка спорту / За ред. А.М. Лапутіна. – К.: Олімпійська література, 2001. – 320 с.
6. Богіно В. Г., Виноградський Б. А. Багатофакторний аналіз результатів стрільби у мішень // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. – 2002. – № 21. – С. 26–35.
7. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1988. – 400 с.
8. Виноградський Б., Куртяк О. Моделивання полів розсіювання точок влучень у стрільбі з лука з використанням комп'ютерної програми «Стріла» // Теорія та методика фізичного виховання. 2008. № 6. – С. 22-29.
9. Ермаков С.С. Обучение технике ударных движений в спортивных играх на основе их компьютерных моделей и новых тренажерных устройств: автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 24.00.01. – Киев, 1997. – 47 с.
10. Заневський І.П. Методика моделювання та аналізу характеристик пострілу зі спортивного лука: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – Л., 1996. – 40 с.
11. Заціорський В.М., Аурін А.С., Селуянов В.Н. Біомеханіка двигательного апарату людини. – М.: Фіс, 1981. – 143 с.
12. Лапутин А.Н. Обучение спортивным движениям. – К.: Здоров'я, 1986. – 216 с.
13. Путь лука. Традиционная стрельба из лука (Англия, Япония, Индия, Китай, Корея). Либроком. 112 с.
14. Сыманович П.Г. Средства и методы комплексного контроля юных стрелков из лука // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. – 2005. – № 4. – С. 82-88.
15. Херригель Е. Дзэн и искусство стрельбы из лука. Путь дзэн. – М.: Наука, 2005. – 160 с.

Информация об авторах:

Адашевский Владимир Михайлович

adashevsky@ukr.net

Национальный технический университет «ХПИ»
ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина.

Ермаков Сергей Сидорович

sportart@gmail.com

Харьковская государственная академия физической культуры
ул. Клочковская 99, г. Харьков, 61022, Украина.

Шабашов Виталий Александрович

adashevsky@ukr.net

Национальный технический университет «ХПИ»
ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина.

Поступила в редакцию 12.03.2012г.

References:

1. Adashevskij V.M. *Teoreticheskie osnovy mekhaniki biosistem* [Theoretical basis of mechanics of biosystems], Kharkov, KPI Publ., 2001, 260 p.
2. Adashevskij V.M. *Metrologiia u sporti* [Metrology in sport], Kharkov, KPI Publ., 2010, 76 p.
3. Antonov S.V., Pitin M.P. *Pedagogika, psihologia ta mediko-biologichni problemi fizicnogo viovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2011, vol.9, pp. 8-10.
4. Balov A.Sh. *Osnovy ballistiki strel'by iz luka* [Bases of ballistics of archery], Moscow, MPA Publ., 1975, 92 p.
5. Laputin A.M. *Biomekhanika sportu* [Biomechanics of sport], Kiev, Olympic literature, 2001, 320 p.
6. Bogino V.G., Vinogradskij B.A. *Pedagogika, psihologia ta mediko-biologichni problemi fizicnogo viovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2002, vol.21, pp. 26–35.
7. Buslenko N.P. *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Modeling of complex systems], Moscow, Science, 1988, 400 p.
8. Vinogradskij B., Kurtiak O. *Teoriia ta metodika fizicnogo viovannia* [Theory and methods of physical education], 2008, vol.6, pp. 22-29.
9. Iermakov S.S. *Obuchenie tekhnike udarnykh dvizhenij v sportivnykh igrakh na osnove ikh komp'uternykh modelej i novykh trenazhernykh ustrojstv* [Education to the technique of shock motions in sport games on the basis of their computer models and new trainer devices], Dokt. Diss., Kiev, 1997, 47 p.
10. Zanevskij I.P. *Metodika modeliuвання ta analizu kharakteristik postrilu zi sportivnogo luka* [Methodology of design and analysis of descriptions of shot from a bow], Dokt. Diss., Lviv, 1996, 40 p.
11. Zaciorskij V.M., Aurin A.S., Seluianov V.N. *Biomekhanika dvigatel'nogo apparata cheloveka* [Biomechanics of motor apparatus of a man], Moscow, Physical Culture and Sport, 1981, 143 p.
12. Laputin A.N. *Obuchenie sportivnym dvizheniam* [Education to sport motions], Kiev, Health, 1986, 216 p.
13. *Put' luka. Tradicionnaia strel'ba iz luka (Angliia, Iaponiia, Indii, Kitaj, Koreia)* [Way of bow. Traditional archery (England, Japan, India, China, Korea)], Librocom, 112 p.
14. Symanovich P.G. *Pedagogika, psihologia ta mediko-biologichni problemi fizicnogo viovanna i sportu* [Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports], 2005, vol.4, pp. 82-88.
15. Kherrigel' E. *Dzen i iskusstvo strel'by iz luka. Put' dzen* [Zen and art of archery. A way is a zen], Moscow, Science, 2005, 160 p.

Information about the authors:

Adashevskiy V.M.

adashevsky@ukr.net

National technical university "KPI"
Frunze str. 21, Kharkov, 61002, Ukraine.

Iermakov S.S.

sportart@gmail.com

Kharkov State Academy of Physical Culture
Klochkovskaya str. 99, Kharkov, 61022, Ukraine.

Shabashov V.A.

adashevsky@ukr.net

National technical university "KPI"
Frunze str. 21, Kharkov, 61002, Ukraine.

Came to edition 12.03.2012.