

УДК 799.322.2

DOI 10.5930/1994-4683-2025-10-81-86

**Проявление асимметрии активности мышц при выполнении выстрелов
из классического лука**

Пухов Александр Михайлович, кандидат биологических наук, доцент
Великолукская государственная академия физической культуры и спорта
Аннотация

Цель исследования заключалась в выявлении особенностей асимметрии активности билатеральных скелетных мышц в различных фазах выстрела из классического лука.

Методы и организация исследования. Во время стрельбы у пяти высококвалифицированных спортсменов регистрировали электромиограммы от 48 отведений у 18 билатеральных мышц туловища и верхних конечностей. Выявляли асимметрию активности мышц в фазах выстрела из лука: «натяжение», «дотяг», «выпуск», «завершение».

Результаты исследования свидетельствуют о преобладании правосторонней мышечной активности при левосторонней «изготовке» стрелка из лука. Наибольшие значения коэффициента асимметрии выявлены в фазах «дотяг» и «выпуск». В фазе «натяжения тетивы» отмечено преобладание ЭМГ-активности мышц, обеспечивающих подъем и наводку лука на мишень, с левой стороны: трапециевидной, дельтовидной и передней зубчатой мышц. В последующих фазах преобладает ЭМГ-активность правой дельтовидной мышцы.

Ключевые слова: стрельба из лука, классический лук, коэффициент асимметрии, электромиография, фазы выстрела, биомеханика спорта.

**Manifestation of asymmetry in muscle activity during the execution of shots
from a recurve bow**

Pukhov Aleksandr Mikhailovich, candidate of biological sciences, associate professor
Velikie Luki State Academy of Physical Education and Sports
Abstract

The purpose of the study was to identify the characteristics of asymmetry in the activity of bilateral skeletal muscles during different phases of the shot from a recurve bow.

Research methods and organization. During shooting, electromyograms were recorded from 48 leads in 18 bilateral muscles of the torso and upper limbs in five highly qualified athletes. Muscle activity asymmetry was identified in the phases of the bow shot: "drawing," "full draw," "release," and "follow-through."

Research results indicate a predominance of right-sided muscle activity with the left-sided stance of the archer. The highest values of the asymmetry coefficient were identified in the "full draw" and "release" phases. In the "drawing the string" phase, predominance of EMG activity was noted in muscles responsible for lifting and aiming the bow at the target on the left side: the trapezius, deltoid, and serratus anterior muscles. In the subsequent phases, EMG activity predominates in the right deltoid muscle.

Keywords: archery, recurve bow, asymmetry coefficient, electromyography, shooting phases, sports biomechanics.

ВВЕДЕНИЕ. Обширный пул видов спорта характеризуется специфическими требованиями к симметричной работе обеих сторон тела, и тренировки в них направлены на развитие и совершенствование симметричности движений [1, 2]. Напротив, ряд спортивных дисциплин предполагает асимметричное развитие опорно-двигательного аппарата и основных органов чувств [3, 4]. В спортивной практике нет однозначного решения вопроса об акцентированном развитии ведущей конечности или сглаживании проявления функциональной асимметрии для повышения результативности спортсмена [5].

Стрелковые виды спорта, в том числе стрельба из лука, строго лимитированы набором двигательных действий и подразумевают ярко выраженную функциональную и биомеханическую асимметрию [6]. Вертикальная изготовка спортсмена-стрелка сопровождается большей опорой на одну ногу, поворотом головы и

туловища в сторону мишени; одна рука выполняет натяжение тетивы, в то время как другая выполняет подъем и удержание лука [7].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – выявить особенности асимметрии активности билатеральных скелетных мышц в различных фазах выстрела из классического лука.

МЕТОДИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. В исследовании приняли участие 5 высококвалифицированных стрелков из классического лука. Спортивная квалификация всех спортсменов соответствовала званию «Мастер спорта России». Стрелки имели левостороннюю изготовку: удержание и наведение лука на мишень выполняли левой рукой, а натяжение и выпуск тетивы – правой рукой. Каждый спортсмен выполнял 6 серий по 6 выстрелов в каждой на дистанции 18 метров. Во время стрельбы синхронно регистрировалась электромиограмма скелетных мышц посредством 16-канального биомонитора ME-6000 (частота дискретизации 2000 Гц) и видеозахват перемещений антропометрических точек рук и лука посредством системы 3D-видеоанализа движений «Qualisys» (частота дискретизации 500 Гц) для определения фаз выстрела по граничным моментам. Последующему электромиографическому анализу подверглись 18 билатеральных мышц торса и рук (от 48 отведений) при выполнении в общей сложности 180 выстрелов.

Выстрелы из лука были разделены на 6 технических фаз по граничным моментам [8]:

1) предварительная изготовка – фаза от момента постановки ног на линии огня и заряжения стрелы до начала подъема лука (определялась перемещением левой шиловидной антропометрической точки по вертикальной оси);

2) принятие основной изготовки – «натяжение» – эта фаза начиналась от момента подъема лука до прикладывания тянущей руки к ориентационной точке (определялось по стабилизации положения правой лучевой антропометрической точки по фронтальной оси);

3) выход стрелы из-под кликера – «дотяг» – фаза включала действия стрелка с момента прикладывания тянущей руки к ориентационной точке до момента срабатывания кликера (определялся по TTL-сигналу от оптико-механического датчика);

4) выпуск стрелы – «выпуск» – фаза соответствовала временному отрезку от момента срабатывания кликера до начала освобождения тетивы от захвата (определялось по TTL-сигналу от оптико-механического датчика);

5) завершение выстрела длилось в течение 0,5 с от момента освобождения тетивы;

6) фаза расслабления – опускание лука и подготовка к следующему выстрелу.

Момент срабатывания кликера и движение стрелы регистрировали механо-оптическим датчиком, механическая часть которого была закреплена на рукоятке лука, а оптическая – на прицельной планке. Фазы «предварительной изготовки» и «расслабления» не подвергались электромиографическому анализу ввиду высокой вариативности действий спортсменов и отсутствия технических требований к данным фазам.

В изучаемые фазы выстрела из классического лука был рассчитан коэффициент двигательной асимметрии (K_{ac}) для 24 билатеральных отведений исследуемых мышц по формуле (1), который представлял собой отношение разности их амплитуд ЭМГ с правой (Π) и левой ($\mathcal{L}$) стороны к их сумме [9]:

$$K_{ac} = \frac{(\Pi - \mathcal{L})}{(\Pi + \mathcal{L})} \quad (1)$$

Чем ближе результат был к 1 у. е., тем больше различия между напряжением правой и левой сторон тела – асимметрия, и, напротив, чем ближе к нулю, тем меньше билатеральные различия напряжения мышц – симметрия. При этом результаты, не превышающие 0,10 у.е., свидетельствовали о симметрии напряжения мышц, более 0,40 у.е. – о выраженной асимметрии [10]. Положительный знак K_{ac} свидетельствовал о преобладании напряжения мышц с правой стороны, отрицательный – с левой стороны.

Математико-статистическая обработка проводилась с помощью Statistica 10.0. Вычисляли среднее арифметическое значение и ошибку среднего арифметического значения ($M \pm m$). Для выявления статистически значимых различий между регистрируемыми параметрами применяли непараметрический критерий Манна-Уитни. Статистически значимыми считались результаты при значении $p < 0,05$.

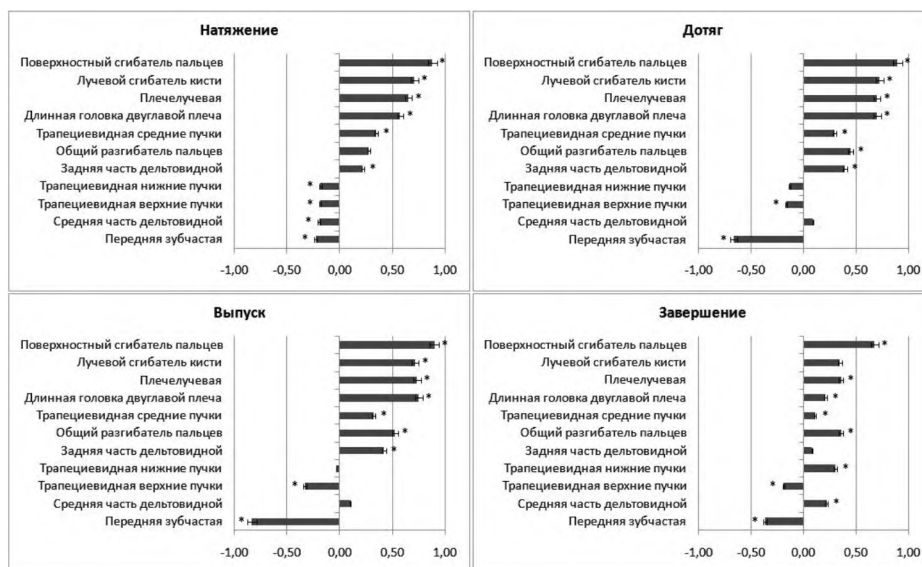
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Выстрел из лука в левосторонней изготовке демонстрирует преобладание ЭМГ-активности скелетных мышц правой стороны тела. Наибольшая асимметрия выявлена между мышцами предплечья. В частности, коэффициенты асимметрии поверхностного сгибателя (0,86 у.е.) и общего разгибателя (0,43 у.е.) пальцев, плечелучевой мышцы (0,64 у.е.) и лучевого сгибателя кисти (0,64 у.е.) свидетельствуют о выраженном преобладании напряжения мышц правой руки (рисунок 1). Коэффициент асимметрии напряжения длинной головки двуглавой мышцы плеча (0,58 у.е.) также демонстрировал преобладание активности тянущей (правой) руки, тогда как длинная головка трехглавой мышцы плеча, напротив, проявляла более высокую активность с левой стороны с коэффициентом асимметрии (0,19 у.е.). При этом выявлено правостороннее доминирование активности мышцы, выпрямляющей позвоночник (0,38 у.е.), напрягающей широкую фасцию бедра (0,35 у.е.), задних пучков дельтовидной (0,33), средних пучков трапецевидной (0,27) и грудино-ключично-сосцевидной мышцы (0,19 у.е.) (рисунок 1). Левосторонняя асимметрия активности при выполнении выстрелов из лука была характерна для передней зубчатой мышцы (-0,46 у.е.), грудино-реберной и брюшной части большой грудной мышцы (-0,38 у.е. и -0,36 у.е. соответственно), широчайшей мышцы спины (-0,27 у.е.) и верхних пучков трапецевидной (-0,22 у.е.). В других исследуемых мышцах наблюдалась симметричность их активности при целостном анализе выстрела из лука, так как коэффициент двигательной асимметрии у них находился в пределах $\pm 0,10$ у.е. (рис. 1).

В определенные периоды выстрела из лука существенно изменяется активность скелетных мышц, следовательно, целесообразно рассматривать асимметрию напряжения мышц в конкретных фазах выстрела. В фазе «натяжение» наиболее высокий коэффициент асимметрии демонстрировали мышцы правой руки.



Рисунок 1 – Коэффициент двигательной асимметрии мышц при выполнении выстрела из лука (у.е.)

В частности, преобладание активности поверхностного сгибателя и общего разгибателя пальцев, лучевого сгибателя кисти и плечелучевой мышцы правой конечности свидетельствовало об их активном напряжении во время натяжения тетивы вследствие ее захвата и сопротивления ей (рис. 2). Напротив, ЭМГ-активность мышц кисти и предплечья левой руки была ниже по сравнению с мышцами правой руки. Также в фазе «натяжения» правосторонняя асимметрия выявлена в напряжении длинной головки двуглавой мышцы плеча, сгибающей правую руку в локтевом суставе, задних пучков дельтовидной и средних пучков трапецевидной мышц, которые отводят плечо в фазе «натяжения тетивы». На протяжении всего выстрела из лука в фазах «дотяг», «выпуск» и «завершение» сохраняется общая тенденция к правосторонней асимметрии перечисленных мышц. Левосторонняя асимметрия напряжения в диапазоне 0,18-0,23 у.е. в фазе «натяжения» присуща верхним и нижним пучкам трапецевидной мышцы, средним пучкам дельтовидной и передней зубчатой мышцам, которые осуществляют подъем и наведение лука на мишень (рис. 2).



* – статистически достоверные различия при $p < 0,05$

Рисунок 2 – Коэффициент двигательной активности мышц в фазах выстрела из лука, у.е.

В фазах «дотяг» и «выпуск» асимметрия напряжения нижних пучков трапецевидной мышцы пропадает, и можно говорить о билатеральной симметрии их активности к моменту выпуска стрелы – коэффициент асимметрии $-0,03$ у.е. После выпуска, в фазе «завершения», наблюдалось преобладание ЭМГ-активности нижних пучков трапецевидной мышцы с правой стороны ($0,31$ у.е.).

Если в фазе «натяжение» для средних пучков дельтовидной мышцы была характерна левосторонняя асимметрия ($-0,20$ у.е.), то в фазе «дотяг» коэффициент асимметрии составлял $0,09$ у.е. и увеличивался в фазах «выпуск» и «завершение» до $0,10$ у.е. и $0,22$ у.е. соответственно, что свидетельствовало о более высоком напряжении мышц с правой стороны (рис. 2). Передняя зубчатая мышца проявляла увеличение левосторонней латеральности в фазе «дотяг» на $191,80\%$ до $-0,66$ у.е., и в фазе «выпуск» еще на $25,59\%$ до $-0,83$ у.е. относительно фазы «натяжение». В завершении выстрела коэффициент асимметрии данной мышцы снизился до $-0,36$ у.е.

В момент выпуска стрелы, соответствующий фазе «выпуск», классический лук достигает максимальной силы натяжения, которая воздействует на прицельную (левую) руку спортсмена. При этом регистрировалась значительная левосторонняя асимметрия напряжения передней зубчатой мышцы для сохранения положения лопатки и стабильности всего плечевого сустава под воздействием упора в лук (рисунок 2). Вместе с тем, выход стрелы из-под кликера и ее выпуск реализуются посредством отведения правой (тянущей) руки назад через сторону и ретракцией лопатки. В связи с этим средние пучки трапецевидной мышцы с правой стороны в фазах «дотяг» и «выпуск» проявляли более высокую активность по сравнению с контралатеральной стороной (рис. 2). Для противодействия давящей силе лука необходимо ограничивать подвижность левой лопатки усилиями передней зубчатой мышцы. Напротив, с правой стороны спортсмен прикладывает усилия для активного приве-

дения лопатки к позвоночному столбу и обеспечению выхода стрелы из-под кликера вследствие увеличения ЭМГ-активности средних пучков трапецевидной мышцы с той же стороны тела.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Результаты исследования свидетельствуют о преобладании правосторонней мышечной активности при левосторонней «изготовке» стрелка из лука. Наибольшие значения коэффициента асимметрии выявлены в фазах «дотяг» и «выпуск». В фазе «натяжения тетивы» отмечено преобладание ЭМГ-активности мышц, обеспечивающих подъем и наводку лука на мишень, с левой стороны: трапецевидной, дельтовидной и передней зубчатой мышц. В последующих фазах преобладает ЭМГ-активность правой дельтовидной мышцы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Брюханов Д. А., Корнилов Ю. П. Совершенствование двигательных действий гребцов с учетом асимметрии специальных силовых качеств // *Sochi journal of economy*. 2014. № 1 (29). С. 222–225. EDN: SBNYTJ.
2. Захарова В. В., Ерсакоева Е. А. Функциональная межполушарная асимметрия в спорте // *Вестник науки*. 2023. № 12 (69). С. 974–980. EDN: ATHHRA.
3. Граматикополо С. Н. Влияние функциональной асимметрии на качество гребков у юных пловцов 8–10 лет // *Вестник спортивной науки*. 2011. № 2. С. 28–30. EDN: OCSELZ.
4. Rynkiewicz M., Rynkiewicz T., Starosta W. Asymmetry of Spinal Segments Mobility in Canoeists and its Relationship with Racing Speed. DOI 10.2478/hukin-2013-0004 // *Human Kinetics*. 2013. № 36. P. 37–43.
5. Функциональная асимметрия как биологический феномен, сопутствующий спортивному результату / Худик С. С., Чикуров А. И., Войнич А. Л., Радаева С. В. DOI 10.17223/15617793/421/29 // *Вестник Томского государственного университета*. 2017. № 421. С. 193–202. EDN: ZHYVMR.
6. Бердичевская Е. М. Компьютерная стабильграфия в исследовании функциональных асимметрий в стрелковом спорте // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2008. № 6 (83). С. 120–123. EDN: KAPCDJ.
7. Archery's signature: an electromyographic analysis of the upper limb / Dorshorst T., Weir G., Hamill J., Holt B. DOI 10.1017/ehs.2022.20 // *Evolutionary Human Sciences*. 2022. Vol. 4 (e25). P. 1–20. EDN: FRHCTS.
8. Пухов А. М. Электромиографический анализ технических фаз выстрела из лука // *Вестник спортивной науки*. 2025. № 3. С. 44–50.
9. Чуйан Е. Н., Горная О. И. Изменение коэффициента моторной асимметрии у крыс при адаптации к гипокинетическому стрессу // *Физика живого*. 2009. № 1 (17). С. 165–168. EDN: SDZMSD.
10. Латеральное регулирование физических нагрузок спортсменов / Чермит К. Д., Карягина Н. В., Клименко А. А., Шаханова А. В., Заболотный А. Г. Майкоп : ООО "Электронные издательские технологии", 2022. 130 с. ISBN 978-5-6048615-9-2. EDN: FZCREX.

REFERENCES

1. Bryukhanov D. A., Kornilov Yu. P. (2014), "Improving the motor actions of rowers, taking into account the asymmetry of special strength qualities", *Sochi journal of economics*, Issue 1(29), pp. 222–225.
2. Zakharova V. V., Ermakova E. A. (2023), "Functional hemispheric asymmetry in sports", *Bulletin of Science*, Issue 12 (69), pp. 974–980.
3. Gramatikopolo S. N. (2011), "The influence of functional asymmetry on the quality of strokes in young swimmers 8-10 years old", *Bulletin of Sports Science*, Issue 2, pp. 28–30.
4. Rynkiewicz M., Rynkiewicz T., Starosta W. (2013), "Asymmetry of Spinal Segments Mobility in Canoeists and its Relationship with Racing Speed", *Human Kinetics*, Issue 36, pp. 37–43, DOI 10.2478/hukin-2013-0004.
5. Khudik S. S., Chikurov A. I., Voynich A. L., Radaeva S. V. (2017), "Functional asymmetry as a biological phenomenon accompanying athletic performance", *Bulletin of Tomsk State University*, Issue 421, pp. 193–202, DOI 10.17223/15617793/421/29.
6. Berdichevskaya E. M. (2008), "Computer stabilography in the study of functional asymmetries in shooting sports", *Izvestiya SFU. Technical sciences*, Issue 6 (83), pp. 120–123.
7. Dorshorst T., Weir G., Hamill J., Holt B. (2022), "Archery's signature: an electromyographic analysis of the upper limb", *Evolutionary Human Sciences*, Issue 4 (e25), pp. 1–20, DOI 10.1017/ehs.2022.20.
8. Pukhov A. M. (2025), "Electromyographic analysis of the technical phases of the archery shot", *Sports Science Bulletin*, Issue 3, pp. 44–50.
9. Chuyan E. N., Gornaya O. I. (2009), "Change in the coefficient of motor asymmetry in rats during adaptation to hypokinetic stress", *Physics of living*, Issue 1 (17), pp. 165–168.
10. Chermit K. D., Karyagina N. V., Klimenko A. A., Shakhanova A. V., Zabolotny A. G. (2022), "Lateral regulation of athletes' physical activity", *Maikop*, 130 p., ISBN 978-5-6048615-9-2.

Информация об авторе: Пухов А.М., доцент кафедры физиологии и спортивной медицины, ORCID: 0000-0002-8642-970X, SPIN-код 8153-3682.

Поступила в редакцию 26.06.2025. Принята к публикации 18.09.2025.