

## ОСОБЕННОСТИ МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ВЫСТРЕЛА ИЗ ЛУКА

А.М. Пухов, С.А. Иванов, С.А. Моисеев, Р.М. Городничев

ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта»,  
Великие Луки, Россия

Для связи с авторами: E-mail: alexander-m-p@yandex.ru

### **Аннотация:**

Цель исследования заключалась в изучении мышечных усилий при выполнении выстрела из лука по параметрам ЭМГ. В результате наших исследований были выявлены основные мышцы, обеспечивающие реализацию выстрела из лука. Представлены данные по длительности, порядке рекрутирования и основным параметрам ЭМГ «ведущих» мышц, обеспечивающих выстрел из лука. Установлено, что в зависимости от фазы выстрела управление мышечной активностью осуществляется программным или коррекционным механизмами. Сопоставительный анализ электроактивности мышц при выполнении выстрела и максимальных усилий показал, что спортсмены при стрельбе из лука развивают усилия в диапазоне от 5% до 30% от максимальных мышечных сокращений.

**Ключевые слова:** стрельба из лука, электромиография, прицельные движения.

### **FEATURES OF MUSCLE ACTIVITY DURING PERFORMING A SHOT FROM A BOW**

A.M. Pukhov, S.M. Ivanov, S.A. Moiseev, R.M. Gorodnichev

Velikie Luki State Academy of Physical Culture and Sport, Velikie Luki, Russia

### **Abstract:**

The research aimed to investigate the archery muscle effort with the help of electromyography. The leading muscles, which provide the shooting act, were singled out. The data on the duration and the order of leading muscle recruitment and the main EMG characteristics of the archery shot were gathered. It was found out that, depending on the shooting phase, the muscle activity control is exercised by the programmed or correction effort control mechanisms. The comparative muscle EMG-activity analysis has shown the value of muscle effort during archery was 5-30% of the relevant muscle maximal force.

**Key words:** archery, movement control, electromyography

### **ВВЕДЕНИЕ**

Измерение усилий «рабочих» мышц в естественных условиях тренировочной и соревновательной деятельности представляет сложную в методическом отношении задачу. Измерение прилагаемых усилий верхними или нижними конечностями к опорной поверхности дает представление о суммарном усилии многих мышц, но не несет информации о характеристиках усилия конкретной мышцы, участвующей в реализации движения. Можно измерять силу мышцы с помощью тензодатчика, вживленного в сухожилие исследуемой мышцы. Недостаток данной методики состоит в том, что при спортивных движениях длина сухожилий мышц изменяется, а это приводит к искажению измерения силы, процедура также довольно болезненна [1].

Некоторые исследователи предпринимали попытки оценить силу мышц по изменению их твердости с помощью миотонометра [2, 3]. Твердость мышцы повышалась при увеличении силы произвольного и вызванного сокращений. Поскольку в момент сокращения конфигурация мышцы изменяется, то в этом случае миотонометр регистрирует не только изменение твердости мышцы, но и изменение ее конфигурации, что вносит ошибку в процесс измерения мышечного усилия.

Характеристики усилий, развиваемых мышцами, на наш взгляд, можно достаточно объективно оценить по их электрической активности. Во многих работах регистрировалось повышение электроактивности конкретных мышц при увеличении их усилия [4, 5, 6, 7].

Представляется очевидным, что регистрация электромиограмм (ЭМГ) рабочих мышц может рассматриваться как наиболее доступный и объективный способ оценки усилий, проявляемых конкретными мышцами при выполнении спортивных движений различной координационной сложности.

Особое внимание среди разнообразного спектра спортивных двигательных действий привлекают прицельные движения, при выполнении которых не развиваются большие усилия, но предъявляются высокие требования к точности мышечных усилий и моменту их проявлений. Представлялось интересным выяснить по параметрам ЭМГ характеристики усилий, развиваемых различными мышцами, обеспечивающими выполнение выстрела из лука.

## ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

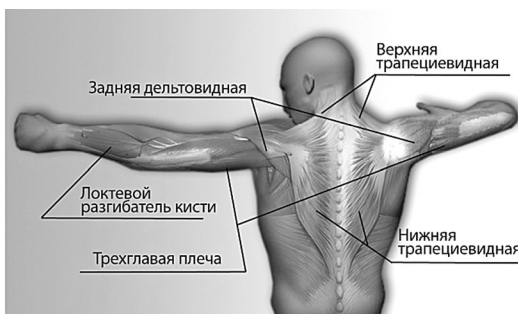
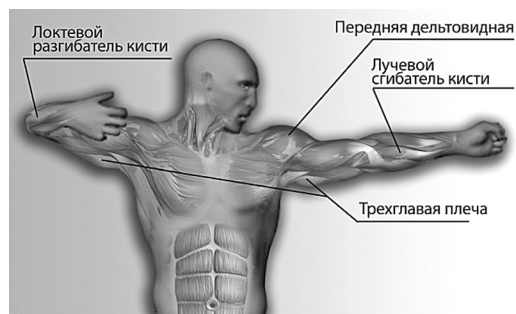
В исследовании приняли участие 14 стрелков из лука разной спортивной квалификации (II разряд – МСМК) в возрасте от 16 до 25 лет. У спортсменов-лучников во время выстрела регистрировалась амплитуда биоэлектрических потенциалов скелетных мышц 16-канальным электромиографом ME 6000 и обрабатывалась в компьютерной программе «MegaWin» (Mega Electronics, Финляндия). Электромиограф позволял записывать электрическую активность скелетных мышц на значительном расстоянии от регистрирующего компьютера, не вступая во время выполнения стрельбы в контакт с испытуемым, т.к. данные передавались в режиме on-line на основе беспроводных технологий Wi-Fi.

Частота дискретизации сигнала 2 кГц. Регистрацию динамограммы максимальных изометрических и концентрических мышечных сокращений выполняли на мультиуставном лечебно-диагностическом комплексе «Biodex System Pro-3» (Biodex Medical Systems, USA). Во всех экспериментах регистрация параметров ЭМГ и выпуск стрелы были синхронизированы. Названия скелетных мышц в работе приведены в соответствии с ныне действующей Международной анатомической терминологией (В.П. Воробьев, 2003). Статистическая обработка результатов исследования проводилась при помощи пакетов Statistica 10.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В начале исследования была зарегистрирована биоэлектрическая активность 32 скелетных мышц, которые, по сведениям, приводимым в публикациях по динамической морфологии, предположительно могли обеспечивать реализацию выстрела из лука. Анализ зарегистрированных электромиограмм позволил выявить 10 мышц, наиболее задействованных в осуществлении выстрела из лука: лучевой сгибатель и локтевой разгибатели кисти правой и левой руки, трехглавые правого и левого плеча, передняя часть левой дельтовидной и задняя часть правой дельтовидной, верхние и нижние пучки правой и левой трапецевидных (рисунок 1).

В перечисленных выше скелетных мышцах, которые мы условно называем «ведущими», на протяжении всего выстрела из лука наблюдались значительные изменения их электриче-



**Рисунок 1 – Расположение ведущих мышц, задействованных в выполнении выстрела из лука**

ской активности. Типичный пример записи ЭМГ ведущих мышц в ходе выстрела из лука представлен на рисунке 2.

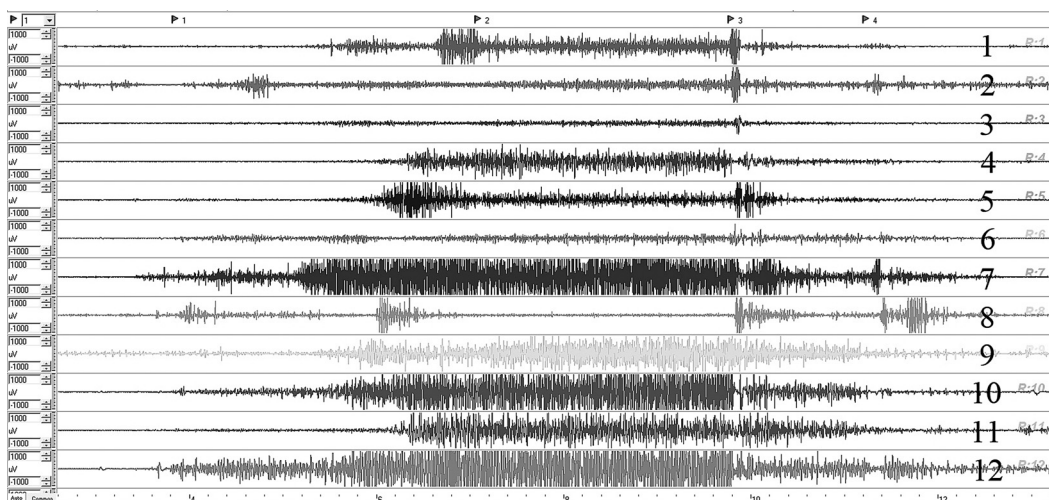
Активность ведущих мышц существенно превышала параметры ЭМГ, зарегистрированные у других 22 мышц. Следовательно, ведущие мышцы развивали и более значительную силу в сравнении с остальными. Параметры ЭМГ ведущих мышц при выполнении выстрела из лука представлены в таблице 1.

Характер биоэлектрической активности ведущих мышц имел свои специфические особенности, которые отражались в порядке активации исследуемых мышц, в различных величинах их интеграла, средней амплитуды и частоты биопотенциалов.

Визуальный анализ ЭМГ выявил особенности механизмов управления мышечной активностью. Для верхних трапециевидных мышц характерно чередование эпизодически возникающих высокоамплитудных и низкоамплитудных всплесков электроактивности, что характерно для коррекционного механизма управления этими мышцами. Такой механизм управления предполагает возможность внесения произвольных или

рефлекторных корректирующих влияний афферентной импульсацией с проприорецепторов рабочих мышц в реализацию моторной программы в период максимального прицеливания, которое происходит в фазе «дотяг», изменяя амплитудные и временные параметры двигательного навыка. Биопотенциалы лучевого сгибателя кисти левой руки были наиболее сконцентрированы в первые 0,2-0,4 с фазы завершения выстрела и превышали значения амплитуды в предшествующие фазы в 4-5 раз. Такой характер биоэлектрической активности свидетельствует о программном механизме управления этой мышцей.

Анализ полученных ЭМГ-параметров позволил выявить определенную вариативность порядка развития мышечных усилий и их прекращения у ведущих мышц при выполнении выстрела из лука. В 46% выстрелов первыми из всех исследуемых мышц активировались верхние пучки левой трапециевидной мышцы, в 23% – локтевой разгибатель кисти правой руки. В свою очередь, в 38% выстрелов вторыми развивали усилие верхние пучки правой трапециевидной мышцы.



**Рисунок 2 – Типичный образец записи ЭМГ ведущих мышц при выполнении выстрела из лука у испытуемого М.Т., 17 лет**

1 – лучевой сгибатель кисти правой руки; 2 – локтевой разгибатель кисти правой руки; 3 – трехглавая плеча правой руки; 4 – задняя часть правой дельтовидной; 5 – лучевой сгибатель кисти левой руки; 6 – локтевой разгибатель кисти левой руки; 7 – трехглавая плеча левой руки; 8 – передняя часть левой дельтовидной; 9 – верхние пучки правой трапециевидной; 10 – верхние пучки левой трапециевидной; 11 – нижние пучки правой трапециевидной; 12 – нижние пучки левой трапециевидной. Маркеры 1 и 2 – подъем лука, 2 и 3 – фаза «дотяг», 3 и 4 – опускание лука

Третьими обычно активировались три мышцы: передняя часть левой дельтовидной – в 31% выстрелов, локтевой разгибатель кисти левой руки и нижние пучки левой трапецевидной – по 25%. В подавляющем большинстве выстрелов (98%) последним вовлекался в работу лучевой сгибатель кисти левой руки.

В 46% выстрелов усилие снижалось первым до фонового уровня в верхних пучках левой трапецевидной мышцы и в 23% – в локтевом разгибателе кисти правой руки. Вторыми в 23% выстрелов прекращали активность верхние пучки правой трапецевидной и нижние пучки левой трапецевидной мышц. Локтевой разгибатель кисти правой руки и лучевой сгибатель кисти левой руки выключались третьими в 31% выстрелов соответственно.

Анализ продолжительности электроактивности исследуемых мышц, косвенно отражающий период проявления мышечных усилий, показал, что длительность ЭМГ колеблется в диапазоне от 0,4 с до 10 с. У верхних пучков правой и левой трапецевидных мышц усилия продолжались более длительно –  $10,0 \pm 0,5$  с и  $9,6 \pm 0,7$  с соответственно. Минимальный период активности наблюдался у лучевого сгибателя кисти левой руки –  $0,4 \pm 0,1$  с. Наиболее высокая амплитуда ЭМГ при выполнении выстрела из лука была зарегистрирована в верхних пучках правой ( $152,9 \pm 14,4$  мкВ) и левой ( $178,0 \pm 22,4$  мкВ) трапецевидных мышц, что свидетельствует о более значительной силе, развиваемой

данной мышцей в сравнении с остальными. Локтевой разгибатель кисти и трехглавая плеча правой руки развивали самые слабые из всех мышц усилия, амплитуда их ЭМГ достигала 52 мкВ.

Исходя из общей цели описываемых в данной работе исследований, логично было сравнить параметры ЭМГ, зафиксированные в скелетных мышцах при выполнении выстрела из лука, с характеристиками электроактивности при максимальном статическом и изотоническом сокращении тех же мышц. Для решения этой задачи была проведена серия экспериментов с участием 12 стрелков из лука. На мультисуставном лечебно-диагностическом комплексе Biodex у них регистрировалась ЭМГ лучевого сгибателя и локтевого разгибателя кисти, дельтовидной мышцы и верхних пучков трапецевидной в процессе выполнения максимального статического усилия и максимального концентрического сокращения в положении, моделирующем изготовку лучника во время выстрела. Обобщенные данные о величине средней амплитуды зарегистрированных ЭМГ представлены в таблице 2.

Из анализа данных, приведенных в таблице, видно, что амплитуда биоэлектрической активности в исследуемых мышцах, а следовательно, и развиваемая ими сила при максимальном статическом и концентрическом сокращении значительно больше, чем в процессе выполнения выстрела. Так, амплитуда ЭМГ лучевого сгибателя кисти левой руки при

**Таблица 1 – Параметры биоэлектрической активности скелетных мышц при выполнении выстрела из лука,  $M \pm m$ ,  $n=14$**

Мышцы	Длительность активности, с	Интеграл, мкВ·с	Средняя амплитуда, мкВ	Средняя частота, Гц
Лучевой сгибатель кисти прав. руки	$5,9 \pm 0,5$	$1157,1 \pm 89,0$	$124,8 \pm 12,9$	$87,8 \pm 1,2$
Лучевой сгибатель кисти лев. руки	$0,4 \pm 0,1$	$227,3 \pm 30,5$	$87,0 \pm 4,8$	$64,5 \pm 3,1$
Локтевой разгибатель кисти прав. руки	$5,9 \pm 0,4$	$645,6 \pm 180,9$	$52,3 \pm 2,4$	$131,0 \pm 3,1$
Локтевой разгибатель кисти лев. руки	$8,9 \pm 0,5$	$1819,0 \pm 175,5$	$143,0 \pm 12,0$	$164,3 \pm 5,2$
Трехглавая плеча прав. руки	$5,6 \pm 0,3$	$523,0 \pm 43,4$	$52,4 \pm 3,1$	$77,1 \pm 3,4$
Трехглавая плеча лев. руки	$7,7 \pm 0,5$	$1644,4 \pm 105$	$88,0 \pm 9,6$	$155,1 \pm 1,4$
Задняя часть прав. дельтовидной	$4,9 \pm 0,4$	$608,6 \pm 69,1$	$80,6 \pm 2,9$	$94,2 \pm 3,8$
Передняя часть лев. дельтовидной	$7,8 \pm 0,5$	$800,5 \pm 71,9$	$66,6 \pm 4,3$	$97,1 \pm 2,9$
Верхние пучки прав. трапецевидной	$10,0 \pm 0,5$	$2388,0 \pm 191,3$	$152,9 \pm 14,4$	$72,9 \pm 2,6$
Верхние пучки лев. трапецевидной	$9,6 \pm 0,7$	$2116,1 \pm 235,2$	$178,0 \pm 22,4$	$82,3 \pm 2,4$
Нижние пучки прав. трапецевидной	$5,9 \pm 0,4$	$382,8 \pm 29,5$	$52,1 \pm 3,4$	$86,3 \pm 1,5$
Нижние пучки лев. трапецевидной	$8,4 \pm 0,5$	$1288,5 \pm 151$	$106,0 \pm 5,6$	$72,6 \pm 1,8$

**Таблица 2 – Характеристики биоэлектрической активности мышц при выполнении выстрела из лука и максимальных изометрических и концентрических сокращениях,  $M \pm m$ ,  $n=12$**

Условия регистрации	Мышцы	Амплитуда, мкВ
Выстрел из лука	Лучевой сгибатель кисти правой руки	124,8±12,9
	Локтевой разгибатель кисти правой руки	52,0±2,4
	Передняя часть левой дельтовидной	66,6±4,3
	Задняя часть правой дельтовидной	80,6±2,9
	Верхние пучки правой трапецевидной	152,9±14,4
Максимальное изометрическое сокращение	Лучевой сгибатель кисти	463,2±27,4 *
	Локтевой разгибатель кисти	412,8±39,7 *
	Передняя часть дельтовидной	659,7±21,7*
	Задняя часть дельтовидной	1571,3±186,5 *
	Верхние пучки трапецевидной	741,5±119,9 *
Максимальное изотоническое сокращение	Лучевой сгибатель кисти	408,6±36,3 *
	Локтевой разгибатель кисти	353,8±24,1 *
	Передняя часть дельтовидной	367,5±38,7 *
	Задняя часть дельтовидной	1263,2±174,6 *
	Верхние пучки трапецевидной	627,1±97,0

Примечания: \* –  $p < 0,05$  – достоверность различий амплитуды ЭМГ при максимальных сокращениях в сравнении со значениями в процессе выстрелов из лука

выполнении выстрела на 81% меньше в сравнении с ее значениями, зарегистрированными в процессе максимального статического усилия, и на 69% меньше, чем при максимальном изотоническом сокращении.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, все изложенное выше позволяет констатировать, что реализация выстрела из лука обеспечивается определенными (ведущими) скелетными мышцами верхних конечностей и спины. Для биоэлектрической

активности таких мышц характерна относительно высокая изменчивость ее параметров в разных фазах выстрела. В регуляции активности некоторых из ведущих мышц используются программный или коррекционный механизмы управления. Результаты сопоставительного анализа ЭМГ мышц в естественных и лабораторных условиях указывают, что ведущие мышцы при выстреле из лука развивают усилия в диапазоне от 5% до 30% от своих максимальных силовых возможностей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов, Г. И. Биомеханика двигательной деятельности / Г. И. Попов, А. В. Самсонова. – 3-е изд., стер. – М.: «Академия», 2014. – 320 с.
2. Блохин, И. П. Твердость мышц у человека как показатель, отражающий силу изометрического напряжения. Управление движениями / И. П. Блохин. – Л.: «Наука», 1970. – С. 17-37.
3. Райков, В. Т. Особенности изменения твердости скелетных мышц человека при раздражении кратковременными импульсами электрического тока до и после утомительной мышечной работы : автореф. дис. ... канд. биол. наук / В. Т. Райков. – Ленинград, 1972. – 18 с.

### BIBLIOGRAPHY

1. Popov G. I. Biomechanics of motor activity / G. I. Popov, A.V. Samsonova. – 3rd ed., erased. –M.: "Academy", 2014. – 320 p.
2. Blokhin I. P. Humans muscles hardness as strength indicator of isometric tension. Motion control. 1970. "Science". – L. P. 17-37.
3. Rykov V. T. The peculiarities of skeletal human

4. Персон, Р. С. Электромиография в исследованиях человека / Р. С. Персон. – М.: Наука, 1969. – 211 с.
5. Городничев, Р. М. Спортивная электромиография : монография / Р. М. Городничев. – Великие Луки : ВЛГИФК, 2005. – 230 с.
6. Городничев, Р. М. Электромагнитная стимуляция моторной системы как метод исследования некоторых проблем спорта / Р. М. Городничев, А. Г. Беляев, Е. А. Михайлова, В. Ю. Ершов, В. Н. Шляхтов // Наука и спорт: Современные тенденции. – 2013. – №1 (Том 1). – С. 89-95.
7. Беляев, А. Г. Влияние магнитной стимуляции на силовые возможности скелетных мышц : автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. Г. Беляев. – Смоленск, 2015. – 23 с.

- muscles hardness changes during stimulation by short electric current pulses before and after exhausting muscular work: abstract. dis. ... candidate. Biol. Sciences. – Leningrad, 1972. – 18 p.
4. Persons, R. S. Electromyography as a method of human studying / R. S. Persons. – М.: Nauka, 1969. – 211 p.
5. Gorodnichev, R. M. Electroneuromyography Sports:

- monograph / R. M. Gorodnichev.- Velikie Luki: VLGIFC, 2005. – 230 p.
6. Gorodnichev, R. M. Electromagnetic stimulation of motor system as a researching method of sport problems / R. M. Gorodnichev, A. G. Belyaev, E. A. Mikhailova, V. Y. Ershov, V. N. Shlyakhtov // Science and sport: Modern tendencies. – 2013. – № 1 (vol. 1). – P. 89-95.
  7. Belyaev, A. G. Influence of magnetic stimulation on strength capacities of skeletal muscles : author. dis. ... candidate. Biol. Sciences / A. G. Belyaev. – Smolensk, 2015. – 23 p.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пухов Александр Михайлович (Puhov Aleksander Mikhailovich) – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник НИИ ПСОФК ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта»;

Иванов Сергей Михайлович (Ivanov Sergey Mikhailovich) – младший научный сотрудник НИИ ПСОФК ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта»;

Моисеев Сергей Александрович (Moiseev Sergey Aleksandrovich) – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник НИИ ПСОФК ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта»;

Городничев Руслан Михайлович (Gorodnichev Ruslan Mikhailovich) – доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта».