

## БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИЖЕНИЙ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОГО УПРАЖНЕНИЯ СПОРТСМЕНОВ-ЛУЧНИКОВ В КВАЛИФИКАЦИОННОМ АСПЕКТЕ

*В статье представлены данные биомеханического анализа эффективности движений в соревновательном упражнении спортсменов-лучников в квалификационном аспекте на основании использования современных аппаратно-программных средств. Описан алгоритм последовательности действий в рамках процесса беспроводной регистрации и оценки временных характеристик выстрела, положения тела, распределения подошвенного давления стоп и биоэлектрической активности скелетной мускулатуры. Определены индивидуальные отличительные характеристики временных параметров и продолжительность отдельных фаз выстрелов в ходе выполнения соревновательного упражнения у спортсменов различной квалификации. Выявлено, что наиболее продолжительными фазами являются фаза удержания и фаза изготовки. Осуществлен индивидуальный и сравнительный анализ паттернов суммарной ЭМГ ключевых мышц, который указал на определенную разноразмерность в амплитудно-частотном спектре, а также включенность в работу той или иной группы мышц, силовой потенциал и экономичность работы спортсменов с учетом уровня мастерства.*

**Ключевые слова:** стрельба из лука, двигательный навык, точность, помехоустойчивость, эффективность движений, биомеханические параметры, электромиография, амплитудно-частотный спектр, рациональная поза.

**Постановка проблемы. Анализ последних источников и публикаций.** Точность движений в стрельбе из лука выступает коррелятом надежности и помехоустойчивости в достижении высокого спортивного результата [1–4, 5]. В научно-методической литературе существуют различные взгляды на практические пути разрешения проблемы надежности и помехоустойчивости в специальной подготовке спортсмена [6, 7].

Спортивный результат в стрельбе из лука (целевая точность) определяются в основном необходимыми биомеханическими характеристиками, которые способен реализовать спортсмен, а именно: начальной скоростью и углом вылета стрелы, высотой ее выпуска [8–10, 1]. При этом начальная скорость вылета стрелы регулируется силой натяжения тетивы лука и ее 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 целевой точности и минимальных значений отклонений от цели на различных дистанциях стрельбы спортсмену необходимо обеспечить сохранение рациональной позы, выполнение рациональных технических действий [6].

В настоящее время в стрельбе из лука доминирует так называемая "корейская техника", так как именно корейские спортсмены занимают лидирующие позиции на мировой арене [8, 11–13].

Специалисты считают, что стрелок должен обладать высоким уровнем статической выносливости; избирательно напрягать и расслаблять мышечные группы, обеспечивающие необходимое техническое действие; точностью и согласованностью движений и положений; быстрой и тонко координированной двигательной и зрительной реакцией; хорошо развитым равновесием; способностью быстро и достаточно полно восстанавливать свою работоспособность после больших нагрузок; высокой психологической устойчивостью на соревнованиях [8, 11].

**Цель исследования** – биомеханический анализ эффективности движений соревновательного упражнения у стрелков из лука в квалификационном аспекте.

**Предмет исследования:** биомеханические параметры техники движений в стрельбе из лука.

**Методы и организация исследования.** Исследование проводилось на базе кафедры "Спортивная инженерия" Белорусского национального технического университета, в котором приняли участие 8 спортсменов с уровнем квалификации от кандидата в мастера спорта до мастера спорта международного класса. Возраст обследуемых – от 17 до 40 лет. Спортсмены выполняли 60 выстрелов из классического лука в условиях, моделирующих соревновательную деятельность, – 20 серий по 3 выстрела в каждой. Условия для выполнения соревновательного упражнения были стандартны, дистанция до мишени – 18 м.

В стрелковом упражнении анализировались лучший и худший выстрелы стрелковой серии. Лучший выстрел – попадание в 10 при наименьшем расстоянии до центральной точки мишени. Худший выстрел – наибольшее отклонение от центральной точки мишени.

В процессе стрельбы из лука осуществлялась скоростная видеосъемка движений с частотой 100 кадров в секунду с синхронной регистрацией биопотенциалов скелетной мускулатуры. Для определения распределения подошвенного давления и стабильности занимаемой стойки спортсмена использовались тонкоплёночные сенсорные стельки фирмы F-Scan и программное обеспечение "F-Scan Research". Анализ техники стрельбы проводился с помощью системы "Qualisys". В состав системы входило восемь цифровых видеокамер "Qqus-300". Обработка данных видеозахвата движений осуществлялась в программе "Qualisys Track Manager". Регистрация биопотенциалов мышц проводилась посредством системы беспроводной электромиографии "Delsys" с последующей обработкой полученных данных в программе "EMGwork Analisis" [14–24]. Все системы были синхронизированы между собой, размещались стационарно в условиях спортивного зала.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В структуре двигательной деятельности стрелка из лука выделяются две основные системы: система, отвечающая за последовательность взаимосвязи прицеливания с наведением оружия на цель, и система, которая отвечает непосредственно за реализацию выстрела.

Изучение устойчивости позы спортсмена при выполнении выстрела – одна из центральных тем в научно-методической литературе по стрелковому спорту [9, 4]. При этом отмечается необходимость исследования устойчивости положения отдельных звеньев системы "стрелок-оружие" и их взаимосвязи, а также механических колебаний и динамических характеристик взаимодействия тела с опорой [25].

Стабильная стойка в процессе выполнения упражнения помогает поддерживать статическое и динамическое равновесие тела, целесообразно координировать движения, эффективно проявлять силовые способности лучника [9]. На основании данных системы видеозахвата движений были зарегистрированы временные характеристики: длительность выстрела в целом, длительность каждой фазы выстрела, а также изучены пространственно-временные характеристики, по которым судили, как изменяется положение тела и его частей во времени.

Соревновательная техника стрельбы из лука разделяется на рабочие фазы с указанием граничных моментов начала и завершения каждой из фаз [26]: **1-я фаза** – изготовления, **2-я фаза** – предустановки лука и растягивания, **3-я фаза** – удержания и выхода стрелы из-под кликера (фаза "дотяга"), **4-я фаза** – выпуска стрелы и завершения выстрела, **5-я фаза** – расслабления.

В соответствии с выделенными фазами стрелкового упражнения было проведено сравнение биомеханических параметров техники движений у двух спортсменок различной квалификации: МСМК и КМС.

В результате расчета за лучшую серию выстрелов у МСМК выбрали серию № 9, у КМС была выбрана серия № 17.

Сравнение временных характеристик выстрелов в худшей и лучшей серии спортсменок различной квалификации позволяет найти разницу во времени выполнения в каждой фазе выстрела и на протяжении всего выстрела в целом. Анализ временных характеристик спортсменок представлен в таблице 1.

В первой фазе выстрела спортсменки выполняют зарядку стрелы в лук, захват тетивы, подъем лука. Время, в среднем затрачиваемое на выполнение выстрела в лучшей серии, у МСМК –  $2,77 \pm 0,16$  с, у КМС –  $2,23 \pm 0,37$  с (таблица 1). Вторая фаза включает в себя натяжение тетивы лука и переход к удержанию: МСМК –  $1,58 \pm 0,17$  с, КМС –  $2,30 \pm 0,03$  с. Третья фаза – прицеливание и удержание лука. В четвертой фазе спортсменки производят выпуск стрелы. Пятая фаза – расслабления – включает в себя действия стрелка с момента опускания опорной руки до принятия им предварительной изготовления. Общее время выполнения выстрела в среднем составляет в лучшей серии у МСМК –  $8,44 \pm 0,07$  с, у КМС –  $10,00 \pm 0,4$  с.

При сравнении измеряемых параметров в выстрелах разной результативности были выявлены следующие тенденции. Длительность соревновательного упражнения при точных попытках была несколько меньше, чем при неуспешных.

Анализ структуры выстрела спортсменок МСМК и КМС показал существенное различие во времени в первой и второй фазах выстрела. В структуру 1-й фазы МСМК помимо основных движений добавляется контроль за степенью напряжения мышц ног и туловища, концентрация внимания на предварительном расслаблении мышц, не участвующих в выполнении выстрела, поэтому она затрачивает на первую фазу на 0,5 с больше, чем вторая спортсменка. Во 2-й фазе кроме стандартных действий спортсменки производят контроль за положением тела, не заостряя внимания на отдельных фазах упражнения. Снижение времени этой фазы у МСМК на 0,7 секунды происходит за счет установки в первой фазе стабильного положения удерживающей руки, что связано с большим уровнем устойчивости системы "стрелок-оружие-мишень". В 3-й фазе существенных различий во времени прицеливания и удержания лука у спортсменок не наблюдается. В 4-й фазе основное внимание уделяется выпуску стрелы выполняемого выстрела. Продолжительность этой фазы составляет у МСМК –  $1,1 \pm 0,1$  с, у КМС –  $1,8 \pm 0,1$  с. У МСМК все основные действия выполняются на уровне отточенного двигательного навыка.

Таблиця 1

**Сравнительный анализ временных характеристик выстрела  
спортсменок различной квалификации**

Показатель	Время фазы изготовки, с			Время фазы предустановки, с			Время фазы удержания, с			Время фазы завершения, с			Время выстрела, с		
М. А. – МСМК															
Выстрел №	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Серия № 9	2,7	2,7	2,9	1,7	1,6	1,4	2,5	2,5	2,4	1,0	1,0	1,1	8,5	8,4	8,4
Х ср.	2,8±0,2			1,6±0,2			2,5±0,1			1,1±0,1			8,5±0,1		
А. Я. – КМС															
Серия № 17	2,1	2,6	1,9	2,3	2,3	2,3	2,6	2,5	2,5	1,6	1,8	1,8	9,8	10,5	9,8
Х ср.	2,2±0,4			2,3±0,1			2,5±0,1			1,8±0,1			10,0±0,4		
М. А. – МСМК															
Выстрел №	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Серия № 5	2,8	3,0	2,9	1,5	1,8	1,5	3,2	2,4	2,4	1,1	1,1	1,1	9,5	8,8	8,8
Х ср.	2,9±0,1			1,6±0,2			2,7±0,5			1,1±0,1			9,1±0,4		
А. Я. – КМС															
Серия № 3	1,9	2,4	1,8	2,7	2,4	2,4	2,8	2,5	2,5	1,9	2,1	1,7	10,3	10,3	9,1
Х ср.	2,1±0,4			2,5±0,2			2,6±0,1			1,9±0,2			9,9±0,7		

Ведущая роль в регуляции и сохранении равновесия при вертикальной позе принадлежит стопе и мышцам голени, которые преимущественно осуществляют коррекцию нарушения равновесия [26–28]. Поскольку именно стопа является той частью локомоторного аппарата, через которую спортсмен взаимодействует с опорой при вертикальном положении тела, информация от расположенных в ней многочисленных проприоцепторов является наиболее тонкой и дифференцированной [7].

В стрельбе из лука правильное расположение тела создает меньше напряженности, позволяя более устойчиво удерживать оружие и целиться, таким образом, производя плавный выстрел.

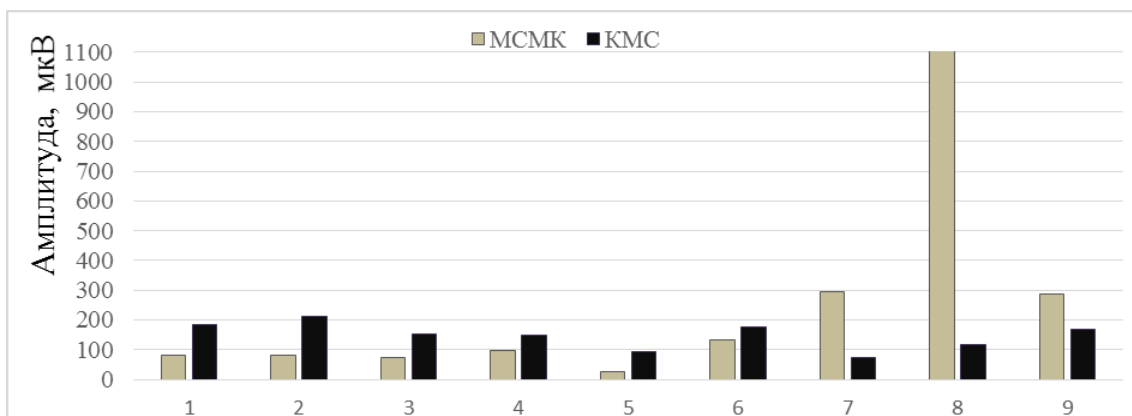
Согласно классическим представлениям, распределение веса в стойке стрелка должно быть 60–70 % на носки и 40–30 % – на пятки. Это распределение опорного взаимодействия очень важно, поскольку носки управляют стабильностью положения тела [13, 26, 6]. При формировании устойчивости на опоре распределение давления на обе ноги должно быть ориентировочно 50 % на правую и 50 % на левую ногу.

Биомеханический анализ динамических параметров взаимодействия стоп спортсменок и опоры выявил следующее: при выполнении выстрелов давление на опору правой и левой стопами у спортсменки экстракласса в лучшем выстреле составило 64 % на левую ногу, 36 % – на правую, у КМС – 59 % на левую, на правую – 41 %. Распределение давления по стопе "пятка – метатарзальная часть" у обеих спортсменок как в лучших, так и в худших попытках претерпевало значительные колебания с акцентом давления на область пятки стоп, что свидетельствовало о недостаточно сбалансированной стойке спортсменок.

Для оценки биоэлектрической активности ведущих мышечных групп беспроводные датчики регистрации суммарной электромиографии (ЭМГ) крепились на двигательных точках мышц, далее выполнялось соревновательное упражнение. На рисунках 1 и 2 представлены данные сравнительного анализа амплитудно-частотного спектра паттернов суммарной ЭМГ у спортсменок различной квалификации при выполнении соревновательного упражнения.

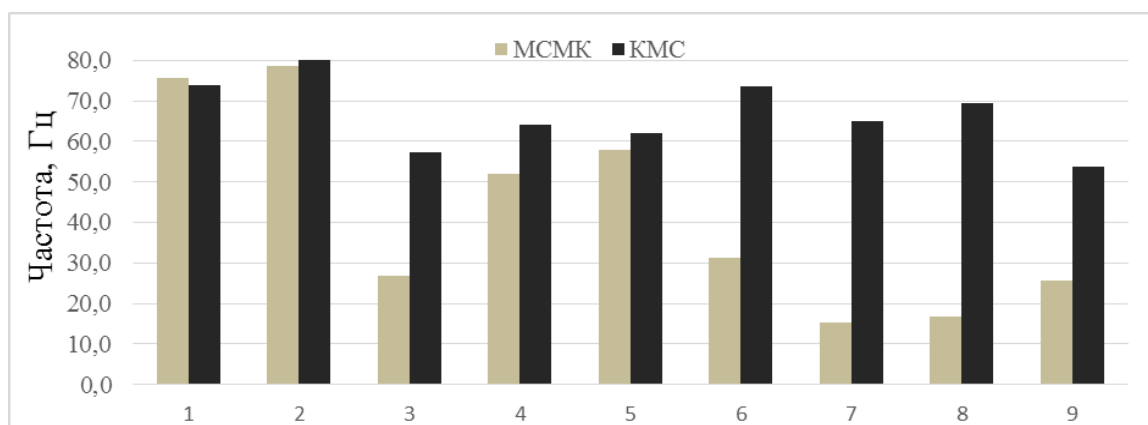
Показатели амплитуды напряжения характеризуют силовые способности мышц и соответственно мобилизацию высокопороговых двигательных единиц, а частоты импульсации – активизацию как низкопороговых, так и высокопороговых двигательных единиц, то есть суммарное количество задействованных двигательных единиц в процессе движения.

Рядом авторов было выявлено, что маркерами успешных выстрелов являются оптимальные величины мышечных усилий в фазе "дотяг" следующих мышц: лучевого сгибателя кисти правой руки; локтевого разгибателя кисти левой руки; нижних пучков правой трапециевидной мышцы спины; задних пучков дельтовидной мышцы правой руки; передних пучков дельтовидной мышцы левой руки [14, 15, 19, 21, 22, 26].



**Рис. 1. Сравнительный анализ амплитудного спектра паттернов суммарной ЭМГ соревновательного упражнения стрелков из лука различной квалификации**

- 1 – двуглавая мышца плеча слева; 2 – трехглавая мышца плеча слева; 3 – средний пучок трапецевидной мышцы справа; 4 – нижний пучок трапецевидной мышцы справа; 5 – широчайшая мышца спины справа; 6 – трехглавая мышца плеча справа; 7 – лучевой сгибатель запястья справа; 8 – передний пучок дельтовидной мышцы справа; 9 – задний пучок дельтовидной мышцы справа



**Рис. 2. Сравнительный анализ частотного спектра паттернов суммарной ЭМГ соревновательного упражнения стрелков из лука различной квалификации**

- 1 – двуглавая мышца плеча слева; 2 – трехглавая мышца плеча слева; 3 – средний пучок трапецевидной мышцы справа; 4 – нижний пучок трапецевидной мышцы справа; 5 – широчайшая мышца спины справа; 6 – трехглавая мышца плеча справа; 7 – лучевой сгибатель запястья справа; 8 – передний пучок дельтовидной мышцы справа; 9 – задний пучок дельтовидной мышцы справа

В результате сравнительного анализа паттернов ЭМГ у спортсменок различной квалификации было выявлено, что среди 9 исследованных мышц наблюдается определенная разноуровневость в амплитудно-частотном спектре, а также в степени включенности в работу той или иной группы мышц в процессе соревновательного упражнения (рисунок 1). У спортсменки более высокой квалификации наибольшие значения амплитудных характеристик при низких частотах зафиксированы по параметрам лучевого сгибателя запястья, переднего и заднего пучков дельтовидной мышцы справа. Именно эти мышцы развивают наиболее значительное усилие в период прицеливания.

Считается, что межмышечная координация между дельтовидными мышцами и мышцами разгибателей пальцев непосредственно влияет на результаты стрельбы. У KMC наблюдается низкий уровень амплитудного спектра этих мышц при значительных частотных характеристиках, что указывает на недостаточный силовой потенциал спортсменки и отсутствие экономичности соревновательного движения.

**Выводы.** Данные биомеханического анализа эффективности движений в серии соревновательного упражнения позволили изучить особенности техники стрельбы из лука спортсменок различной квалификации и определить слабые и сильные стороны их технической подготовленности.

Установлено, что для достижения высоких результатов стрельбы немаловажным фактором является выбор рациональной позы, связанной с постановкой ног и стабилизацией давления стоп спортсмена на опору. Это приводит к уменьшению колебаний тела и всей системы "спортсмен-оружие".

В результате анализа временных характеристик выстрела установлено, что продолжительность фаз выстрела напрямую связана с квалификацией спортсмена, так как стабилизация техники свидетельствует об уровне технической подготовленности спортсменов.

Анализ амплитудно-частотного спектра суммарной ЭМГ указал на высокий силовой потенциал и экономизацию работы мышц, развивающих наиболее значительное усилие в период прицеливания у спортсменов более высокой квалификации.

Таким образом, данные биомеханического анализа эффективности движений являются существенной предпосылкой решения сложных задач оптимизации тренировочного процесса в стрельбе из лука. Оптимизация представляет собой поиск наиболее целесообразного пути структурного, функционального и прочего согласования множества переменных, характеризующих макросистему "спортсмен-оружие-среда" и позволяет добиться наибольшей эффективности тренировочного процесса.

### Использованные источники

1. Бозержан Ж. Справочник по спортивной стрельбе / Ж. Бозержан: пер. с франц. Исаковой Е. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 192 с.
2. Бойченко С. Д. Методика повышения многомерной помехоустойчивости точностных движений / С. Д. Бойченко. – Минск, 1978. – 23 с.
3. Бойченко С. Д. Помехоустойчивость точностных движений и возможные пути повышения в процессе спортивной тренировки (экспериментальное исследование на материале фехтования): Автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04. – М., 1980. – 23 с.
4. Болотин А. Э. Педагогическая модель подготовки стрелков из лука к соревновательной деятельности / А. Э. Болотин, В. В. Бакаев // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. – 2014. – № 10 (116). – С. 39.
5. Зацюрский В. М. Основы спортивной метрологии / В. М. Зацюрский. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 152 с.
6. Чхаидзе Л. В. Управление движениями спортсмена / Л. В. Чхаидзе. – М.: Физкультура и спорт, 1970. – С. 33.
7. Шустин Б. Н. Моделирование в спорте (теоретические основы и методические рекомендации): Дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.04. – М., 1995. – 282 с.
8. Lee, K. Inside the archery / K. Lee, T. Benner // Astra LLC. – USA, 2009. – P. 25.
9. Балов А. Ш. Основы баллистики стрельбы из лука / А. Ш. Балов // Военно-политическая академия. – М., 1975. – 92 с.
10. Шилин Ю. Н. Спортивная стрельба из лука. Теория и методика обучения: учеб. пособие / Ю. Н. Шилин, Е. Н. Белевич. – М.: ТБТ Дивизион, 2011. – 280 с.
11. Hyung-Tak K. Achery / K. Hyung-Tak // Astra LLC. – USA, 2005. – P. 10–21.
12. Larven J. Shooting technique. Biomechanics / J. Larven, J. Park – Sidney, 2007. – P. 20–28.
13. Lee K. S. Total Archery. Inside the archer / K. S. Lee. – Sidney, 2012. – P. 111–210.
14. De Luca C. J. Decomposition of Surface EMG Signals / Carlo J. De Luca, A. Adam, R. Wotiz, L. Gilmore, S. H. Nawab // J Neurophysio. – Boston, 2006. – P. 246–257.
15. De Luca, C. J. Decomposition and analysis of intramuscular electromyographic signals / C. J. De Luca, A. Adam // Modern Techniques in Neuroscience Research, edited by Windhorst U and Johansson H. Heidelberg – Germany: Springer-Verlag, 1999. – P. 757–776.
16. De Luca, C. J. Behaviour of human motor units in different muscles during linearly varying contractions / C. J. De Luca, R. S. LeFever, M. P. McCue, A. P. Xenakis // J Physiol. – 1998. – P. 113–128.
17. Ariel G. High technology in athletic training and performance analysis / G. Ariel // California, CA, U.S.A. XII Intern. Symposium on Biomechanics in sports. – Budapest, 1994. – 104 p.
18. Augulo R.V. Comparison Film and video Techniques for Estimating Three-Dimensional Coordinates Within a Lange Field / R. V. Augulo, J. Dapena // Inter. J. Sport Biomech. – 1992. – P. 145–151.
19. Horsak B. A three dimensional Analysis of Finger and Bow String Movements During Release in Archery / B. Horsak, M. Heller // J. Appl. Biomechanic. – St. Pölten, Austria, 2011. – P. 151–160.
20. Leroyer P. Biomechanical study of the final push-pull in archery / P. Leroyer, P. Hoecke, J. N. Helal // Journal Sports Sci. – Paris, 1993. – P. 2–11.
21. Martin P. E. Electromyographic analysis of bow string release in highly skilled archers / P. E. Martin, D. Hoffman // Journal Sports Sci. – Arizona, 1990. – P. 5–21.
22. Nishizono H. An electromyographical analysis of purposive muscle activity and appearance of muscle silent period in archery shooting / H. Nishizono, K. Nakagava, T. Suda et al. // Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine. – Japan, 1984. – 32 p.

23. Podoloff R. M. Pressure mapping system for gait analysis / R. M. Podoloff, M. A. Benjamin. – 1991. – P. 199–201.
24. Winter D. A. Biomechanics and motor control of human movement / Winter D. A. // John Wiley & Sons. Inc. N.Y. – 1990. – P. 272–277.
25. Верхошанский Ю. В. Основы специальной физической подготовки спортсменов / Ю. В. Верхошанский. – М.: Физкультура и спорт, 1988. – 331 с.
26. Пухов А.М. Некоторые физиологические механизмы прицельных движений / А.М. Пухов, Р.М. Городничев // Sportul Olimpic și sportul pentru toți: Materialele Congresului Șt. Intern. / col. red.: Manolachi V., Danail S. – Ch.: USEFS, 2011. – S. 428–431.
27. Yamamoto S. Quantitative gait evaluation of hip diseases using principal component analysis / S. Yamamoto, Y. Suto, H. Kawamura et al. // Journal Biomech. – 1983. – P. 717–726.
28. Young C. R. The F-scan system of foot pressure analysis / C.R. Young // Clin. in Pediatr. Med. Surg. – 1993. – P. 142–151.

Belous P., Borsch M.

### BIOMECHANICAL ANALYSIS OF MOVEMENTS' EFFICIENCY OF COMPETITIVE EXERCISE ATHLETES-ARCHERS IN QUALIFICATION ASPECT

*The article represents the data of biomechanical analysis of movements' efficiency of competitive exercise of athletes-archers in qualification aspect based on application of hardware and software means. The algorithm of actions' sequence within remote registration and assessment of shot's temporal characteristics' process, body position, plantar pressure of the foot's distribution and skeletal muscles' bioelectrical activity were described. Individual distinctive characteristics of temporal parameters and duration of single phases of shots during performing competitive exercise by different qualification sportswomen were defined. It was revealed that the most extended phases are the hold-on phase and ready position phase.*

*As a result of the biomechanical analysis of the dynamic parameters of the footsteps of the athletes and the support, it was established that the distribution of pressure along the foot of the "heel – metatarsal part" in both athletes, both in the best and worst attempts, underwent significant fluctuations with an emphasis on pressure on the heel of the feet, insufficiently balanced stand of athletes.*

*Individual and comparative analyses of patterns of total electromyography of key muscles were carried out, that point out at certain multilevel in the amplitude-frequency spectrum, and also the involvement in the functioning of certain set of muscles, strength potential and sportswomen's operating economy taking into account their skill level.*

*In a sportswoman of a higher skill level, the largest values of the amplitude characteristics at low frequencies are fixed by parameters m. extensor carpi radialis, and musculus deltoideus right, since it is these muscles that develop the most significant effort during the aiming period. The athletes of lower qualification there is a low level of the amplitude spectrum of these muscles with significant frequency characteristics, that points to a lack of power potential and efficiency of competitive movements.*

*Data biomechanical analysis of the effectiveness of movements are an essential prerequisite for solving complex problems of optimizing the training process in archery.*

**Key words:** archery, movement skill, exactness, tolerance, efficiency of the movements, biomechanical parameters, electromyography, amplitude-frequency spectrum, rational pose.

Стаття надійшла до редакції 14.08.2017