

# ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.743:799.322

DOI 10.34014/2227-1848-2019-2-95-104

## МЕХАНИЗМ СНИЖЕНИЯ ВАРИАТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СКЕЛЕТНЫМИ МЫШЦАМИ СПОРТСМЕНОВ ПО ПРИНЦИПУ ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИНЕРГИЙ

С.А. Моисеев

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

e-mail: sergey\_moiseev@vlgafr.ru

*Вопрос вариативности физиологических функций представляет интерес в теоретическом плане, поскольку является частью теории управления произвольными движениями человека. Система управления скелетными мышцами, вероятно, должна иметь механизм, позволяющий сократить или ограничить диапазон возможных ее вариаций. Таковым, предположительно, является организация элементов моторной системы по принципу мышечных синергий.*

*Цель работы – изучение вариаций и признаков согласованной биоэлектрической активности скелетных мышц в одной из результирующих фаз выстрела из лука.*

*Материалы и методы. В исследованиях приняли участие 5 высококвалифицированных спортсменов (МС, МСМК). Лучники выполняли 10 серий по 3 выстрела с дистанции 18 м в крытом помещении. Производилась синхронная регистрация электрической активности 12 скелетных мышц верхнего плечевого пояса и 3D-видеоряда. Анализировались показатели распределения, описательной и вариационной статистики для сгруппированных данных. Для выявления признаков согласованной активности мышц применялся множественный регрессионный анализ.*

*Результаты. Величины вариативности, характеризуемые статистическими параметрами, установленные для турн-амплитудных характеристик различных мышц, не имели явной зависимости. Мышцы, имеющие относительно высокие параметры разброса значений по показателю средней амплитуды ЭМГ, могли иметь небольшую вариативность среднего числа турнов ЭМГ.*

*Лучевой сгибатель кисти левой руки являлся частью мышечной синергии в 90 % случаев, передняя часть дельтовидной мышцы левой конечности – в 80 %, нижние и верхние пучки трапециевидной мышцы правой и левой сторон – в 70 %. Другие исследуемые мышцы являлись их частью в менее чем 60 % случаев.*

*Выводы. Управление системой скелетных мышц, принимающих активное участие в реализации одной из результирующих фаз точностного движения, может осуществляться по механизму образования функциональных синергий, что, вероятно, способствует снижению диапазона возможных вариаций параметров электроактивности мышц.*

**Ключевые слова:** вариативность, стрельба из лука, электромиография, координационная структура, мышечные синергии.

**Введение.** Вопрос вариативности физиологических функций, а именно системы управления моторикой, представляет интерес в теоретическом плане, поскольку является частью общей проблемы координации движений и теории управления произвольными движениями человека. Кроме того, понима-

ние сущности физиологических процессов, лежащих в основе вариативности характеристик движения, необходимо для решения практических задач обучения и совершенствования двигательных навыков в трудовой и спортивной деятельности.

Очевидно, что характер моторных команд при выполнении разных по структуре движений может быть весьма вариативен. Однако эти команды в определенной степени варьируют и при выполнении стереотипных целостных движений, а также их отдельных фаз, что отражается на параметрах их внутренней структуры. Биологическое значение вариаций традиционно связывают с поиском наиболее оптимальных и адекватных двигательной задаче моторных программ; обеспечением надежности функционирования системы при невозможности или затрудненности использования ее некоторых элементов; обеспечением более позднего наступления утомления вследствие сменной работы в нервной системе функциональных комплексов, а на периферии – мышц и двигательных единиц, обеспечивающих их сокращение [1–3]. Такая сложная система управления скелетными мышцами, вероятно, должна иметь механизм, позволяющий сократить или ограничить диапазон возможных вариаций. Одним из таких механизмов может быть функциональная организация элементов мышечной системы по принципу функциональных синергий [4–6].

**Цель исследования.** Изучение вариаций и признаков согласованной биоэлектрической активности скелетных мышц в одной из результирующих фаз выстрела из лука.

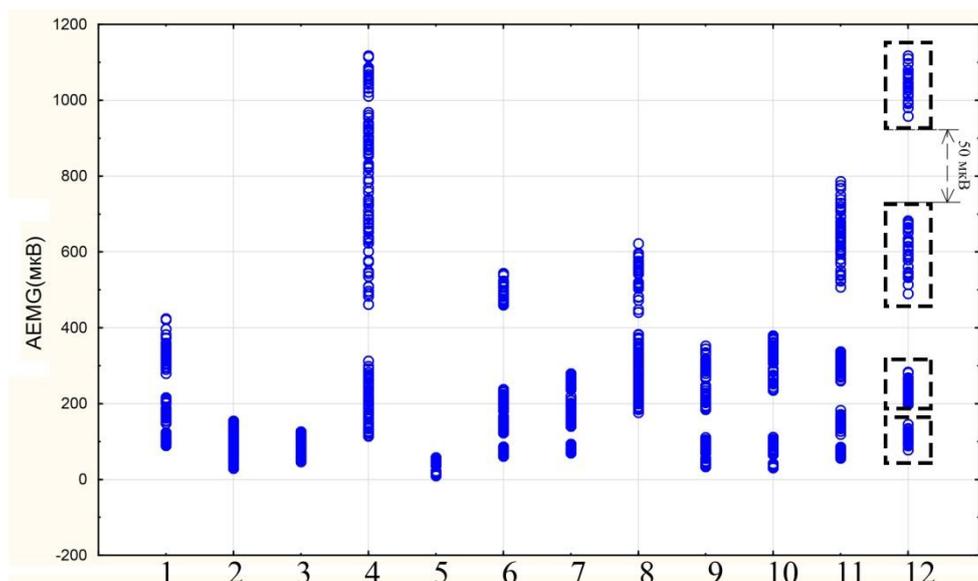
**Материалы и методы.** В исследованиях приняли участие 5 высококвалифицированных спортсменов (МС, МСМК). Лучники выполняли 10 серий по 3 выстрела с дистанции 18 м в крытом помещении. Производилась синхронная регистрация электрической активности 12 скелетных мышц верхнего плечевого пояса. Электромиограммы (ЭМГ) регистрировались посредством 16-канального биомонитора ME 6000 (Mega Electronics, Финляндия). Для отведения ЭМГ использовались одноразовые биполярные неполяризуемые наконечные дисковые электроды диаметром 0,9 см. Активный электрод располагался в двигательной точке исследуемой мышцы, а референтный прикреплялся по ходу ее волокон. Межеlectродное расстояние составляло 2 см. Анализировались показате-

ли вариации турн-амплитудных характеристик ЭМГ и оценивалась вариативность порядка включения исследуемых мышц. За единицу турна принималась амплитуда биопотенциалов не менее 10 мкВ. Включение мышцы определялось по моменту достижения величины ее амплитуды 20 % от максимальной.

Видеорегистрация осуществлялась посредством системы видеозахвата Qualisys (Швеция). Частота дискретизации видеосъемки составляла 500 Гц. На основании анализа 3D-видеоряда техника структура выстрела была разделена на 3 рабочих фазы: фазу принятия основной изготовки; фазу выхода стрелы из-под кликера («дотяг»), которая включала в себя действия стрелка с момента прикладывания тянущей руки к ориентационной точке до момента срабатывания кликера; фазу выпуска стрелы. В статье приводятся данные только для фазы «дотяг».

Статистическая обработка данных осуществлялась в среде Statistica 10.0. Анализировались показатели распределения, описательной и вариационной статистики для сгруппированных данных: среднее арифметическое ( $M$ ), медиана ( $Me$ ), стандартное отклонение ( $SD$ ), коэффициент вариативности ( $V$ ), ошибка среднего арифметического ( $m$ ), максимальное и минимальное значения ( $Min$ ,  $Max$ ), верхний и нижний квартили ( $Q_{верх}$ ,  $Q_{нижн}$ ), размах вариации ( $R$ ), квартильный размах ( $IQR$ ). В общей сложности проанализировано 1800 значений по каждому параметру. Данные группировались по критерию распределения значений вариационного ряда. Разница значений более 50 мкВ считалась признаком отношения к определенной статистической совокупности (далее – порядка). Для определения признаков согласованной активности мышц применялся множественный регрессионный анализ [7, 8].

**Результаты.** Исходя из цели работы был проанализирован характер распределения результатов выстрелов из лука в группе испытуемых (рис. 1). В изучаемой фазе точностного движения данные большинства исследуемых мышц оказались сгруппированы в 2 или 3 совокупности.



**Рис. 1.** Распределение значений вариационного ряда средней амплитуды (AEMG) ЭМГ выстрелов из лука,  $n=1800$ .

Пунктиром показан пример группировки данных.

По оси абсцисс – скелетные мышцы: 1 – лучевой сгибатель кисти правой конечности (пр.), 2 – локтевой разгибатель кисти пр., 3 – трехглавая плеча пр., 4 – задняя часть дельтовидной пр., 5 – лучевой сгибатель кисти левой конечности (л.), 6 – локтевой разгибатель кисти л., 7 – трехглавая плеча л., 8 – передняя часть дельтовидной л., 9 – верхние пучки трапецевидной пр., 10 – верхние пучки трапецевидной л., 11 – нижние пучки трапецевидной пр., 12 – нижние пучки трапецевидной л.

Значения средней амплитуды ЭМГ первого порядка для разных мышц варьировали в широком диапазоне. Так, наименьший разброс значений наблюдался для лучевого сгибателя кисти правой руки, где значения среднего арифметического и медианы практически совпадали – 29,72 и 29,54 мкВ соответственно, размах вариации составил 6,52 мкВ, коэффициент вариативности – 5,56 %. Аналогичная картина наблюдалась для М и  $M_e$  следующих мышц: трехглавой мышцы плеча левой руки – 81,50 и 81,65 мкВ, нижних пучков трапецевидной мышцы левой руки – 111,49 и 112,16 мкВ. В дельтовидных мышцах правой и левой, а также в трапецевидной мышце левой руки разница между значениями среднего арифметического и медианы оказалась в пределах 8–15 мкВ, в других исследуемых мышцах – не более 8 мкВ.

В табл. 1 представлены данные по вариативности среднего числа турнов ЭМГ, характеризующие минимальной разницей между показателями среднего арифметического и медианы – не более 3,3 мкВ.

Следует отметить, что коэффициент вариативности среднего числа турнов ЭМГ для лучевого сгибателя кисти левой руки оказался значительно выше, чем для других представленных мышц, и составил 45,07 %, размах вариации – 319,43 мкВ, квартильный размах – 175,77 мкВ, ошибка среднего арифметического – 8,15. Обращает на себя внимание тот факт, что при практически одинаковых значениях М и  $M_e$  для данной мышцы регистрировался высокий V в сравнении с другими представленными мышцами. В этом случае коэффициент вариативности – не информативный показатель, поскольку является следствием большого статистического разброса данных. Здесь для анализа вариативности мышечной электроактивности необходимо учитывать и другие ее параметры.

По показателю средней амплитуды наибольшая вариативность наблюдалась в ЭМГ мышц, которые проявляли большую электроактивность в изучаемой фазе выстрела. Так, средняя амплитуда и стандартное отклонение ЭМГ дельтовидных мышц правой и левой

рук составили  $189,66 \pm 59,02$  и  $269,76 \pm 53,09$ , а для локтевого разгибателя левой руки –  $150,45 \pm 55,03$ . При сравнении показателей вариации исследуемых параметров следует отметить больший разброс среднего числа турнов ЭМГ большинства исследуемых мышц (рис. 2) при отсутствии определенной зави-

симости между величиной амплитуды мышцы и частотой ее турнов. Например, вариации амплитуды лучевого сгибателя кисти левой руки, характеризуемые квартильным размахом ( $5,84$  мкВ), значительно превышали аналогичный для среднего числа турнов ЭМГ –  $175,77$  мкВ.

Таблица 1

**Показатели вариации среднего числа турнов ЭМГ при выполнении выстрелов из лука, группировка первого порядка, n=651**

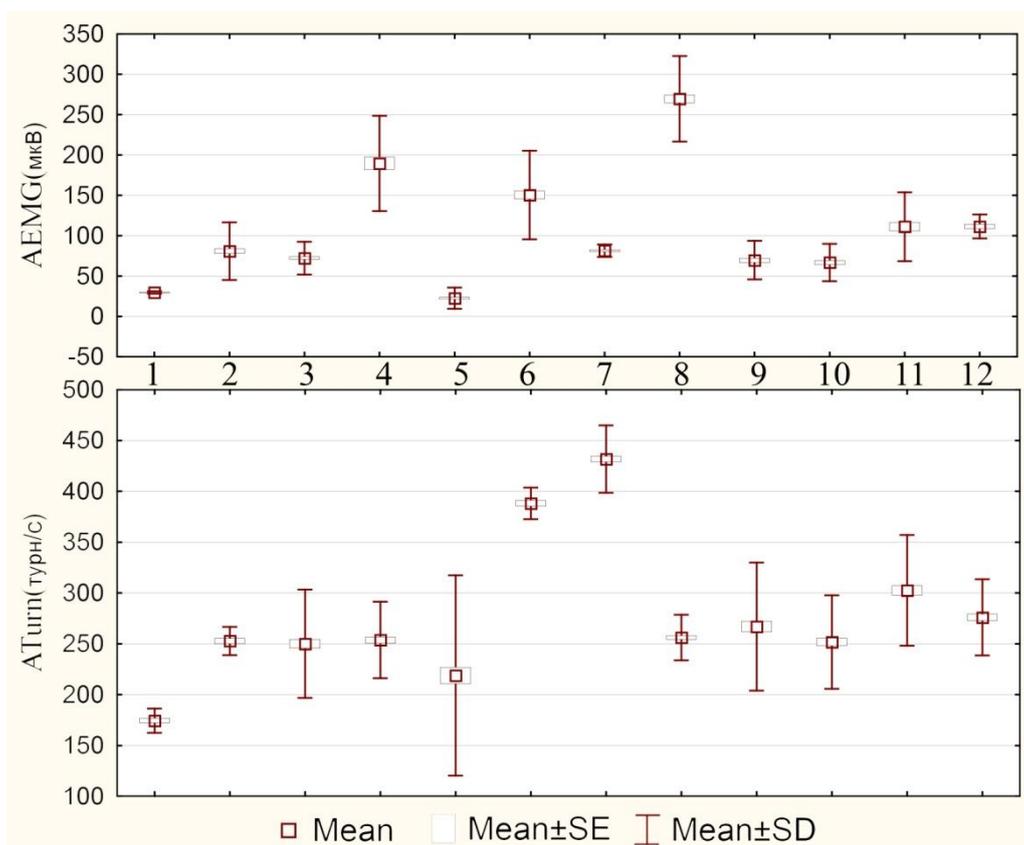
Параметры	1	2	3	4	5	6
M	174,51	252,78	<b>219,20</b>	431,72	256,12	276,05
Me	175,46	250,78	<b>218,97</b>	431,32	254,23	279,38
Min	150,15	230,63	66,51	376,55	217,15	207,00
Max	192,20	284,80	385,94	514,92	308,96	347,82
Q <sub>верх</sub>	163,76	243,78	132,65	403,33	238,00	243,36
Q <sub>нижн</sub>	184,27	264,40	308,42	455,07	273,42	309,30
R	42,05	54,17	319,43	138,37	91,81	140,82
IQR	20,51	20,62	175,77	51,74	35,42	65,94
SD	11,83	13,87	98,80	32,98	22,38	37,44
V	6,78	5,49	<b>45,07</b>	7,64	8,74	13,56
SE	2,16	2,53	8,15	2,71	1,84	3,08

**Примечание.** 1 – лучевой сгибатель кисти пр., 2 – локтевой разгибатель кисти пр., 3 – лучевой сгибатель кисти л., 4 – трехглавая плеча л., 5 – передняя часть дельтовидной л., 6 – нижние пучки трапециевидной л.

В сгруппированных данных второго порядка по показателю средней амплитуды ЭМГ наименьшие вариации наблюдались в локтевом разгибателе кисти левой руки, где M и Me составляли  $495,98$  и  $493,70$  мкВ, коэффициент вариативности –  $5,55$  %. Электроактивность трапециевидных мышц правой и левой сторон также характеризовалась низкой вариативностью, разница в параметрах M и Me не превышала  $4$  мкВ, а значения V оказались не более  $12,16$  %. Следует отметить, что в группу данных второго порядка не вошли следующие мышцы: локтевой разгибатель кисти правой, трехглавая мышца плеча правой и лучевой сгибатель кисти левой руки. В совокупность данных второго порядка по показателю среднего числа турнов вошли

три мышцы: лучевой сгибатель кисти и локтевой разгибатель кисти правой и левой рук. Коэффициенты вариативности для этих мышц не превышали  $9,81$  %, однако для локтевого разгибателя кисти левой руки был характерен больший размах вариации и большая разница в значениях M и Me –  $16,36$  мкВ.

В сгруппированные данные третьего порядка по показателю средней амплитуды ЭМГ вошли три мышцы: нижние пучки трапециевидных мышц обеих сторон и лучевой сгибатель кисти правой руки, а четвертого порядка – только нижние пучки трапециевидной мышцы левой стороны. В названных группах разница значений M и Me не превышала  $6,99$  мкВ, а коэффициенты вариативности –  $10,59$  %.



**Рис. 2.** Характеристика разброса значений средней амплитуды (AEMG) и среднего числа турнов (ATurn) ЭМГ сгруппированных данных первого порядка,  $n=1065$ .

По оси абсцисс: 1 – лучевой сгибатель кисти пр., 2 – локтевой разгибатель кисти пр., 3 – трехглавая плеча пр., 4 – задняя часть дельтовидной пр., 5 – лучевой сгибатель кисти л., 6 – локтевой разгибатель кисти л., 7 – трехглавая плеча л., 8 – передняя часть дельтовидной л., 9 – верхние пучки трапецевидной пр., 10 – верхние пучки трапецевидной л., 11 – нижние пучки трапецевидной пр., 12 – нижние пучки трапецевидной л.

Исходя из цели работы был проанализирован порядок включения исследуемых мышц в изучаемое двигательное действие. Так, для первого включения характерна активация лучевого сгибателя кисти правой руки и нижних пучков трапецевидной мышцы левой руки в практически равном процентном соотношении от общего числа включений. Вторыми в 15,6 и 16,3 % случаев включались локтевой разгибатель кисти правой руки и верхние пучки трапецевидной мышцы левой стороны тела соответственно. Последними в большинстве случаев активировались лучевой сгибатель кисти левой руки (25,17 %) и лучевой сгибатель кисти правой руки (23,13 %). В целом порядок включения исследуемых скелетных мышц характеризовался высокой вариативностью.

Для выявления мышечных синергий в изучаемой фазе сложнокоординационного точностного движения был проведен множественный регрессионный анализ, где в качестве зависимой переменной последовательно выступали значения вариационного ряда средней амплитуды ЭМГ всех исследуемых скелетных мышц. Согласно построенным регрессионным моделям каждая из исследуемых скелетных мышц имела как минимум 4 объясняющие переменные. Например, для верхних пучков трапецевидной мышцы левой конечности таковыми являлись локтевой разгибатель кисти левой ( $x_1$ ) и правой рук ( $x_2$ ), лучевой сгибатель кисти левой руки ( $x_3$ ) и нижние пучки трапецевидных мышц левой ( $x_4$ ) и правой сторон ( $x_5$ ). Уравнение регрессии в данном случае имело вид

$$y = -63,208 + 0,3255x_1 + 0,797x_2 + 1,728x_3 - 0,173x_4 + 0,369x_5.$$

Уравнение регрессии, в котором независимой переменной являлась задняя часть дельтовидной мышцы правой конечности, имело вид

$$y = -515,522 + 5,891x_1 + 5,958x_2 + 0,692x_3 + 0,458x_4,$$

где  $x_1$  – локтевой разгибатель кисти правой руки,  $x_2$  – лучевой сгибатель кисти левой руки,  $x_3$  – нижние пучки трапецевидной мышцы левой стороны,  $x_4$  – нижние пучки трапецевидной мышцы правой стороны тела.

В зависимости от того, электроактивность какой мышцы выступала в качестве зависимой переменной при построении линейной регрессионной модели, в структуру синергий входили разные скелетные мышцы. Так, лучевой сгибатель кисти левой руки являлся частью синергии в 90 % случаев, передняя часть дельтовидной мышцы левой конечности – в 80 %, нижние и верхние пучки трапецевидной мышцы правой и левой сторон – в 70 %. Другие исследуемые мышцы являлись частью синергий в менее чем 60 % случаев. Верхние пучки трапецевидной мышцы правой стороны, по результатам вычислений, не вошли ни в одну из определенных синергий.

**Обсуждение.** В своих работах Н.А. Бернштейн показал, что однозначной связи между импульсом в ЦНС и движением нет, поскольку движение возможно лишь при условии непрерывного согласования центральных импульсов с явлениями, происходящими на периферии тела, а одним из основных принципов управления произвольными движениями является принцип обратной связи [9, 10]. Из этого следует, что вариативность центральных импульсов не характеризует случайный разброс в функционировании моторной системы, а является частью приспособительного механизма, направленного на поддержание определенного уровня мышечного напряжения посредством варьирования частоты следования биопотенциалов [11]. В пользу этого положения свидетельствуют полученные нами данные о характере рас-

пределения параметров электроактивности скелетных мышц. Например, распределение данных средней амплитуды ЭМГ локтевого разгибателя кисти левой руки в сгруппированных данных первого порядка является нормальным, что говорит о наличии статистической закономерности в представленных результатах. Распределение значений, характеризующих электроактивность большинства исследуемых мышц в полученных нами сгруппированных данных, также являлось нормальным.

Интересен тот факт, что величины вариативности, установленные для турн-амплитудных характеристик различных мышц, не имели явной зависимости. Мышцы, имеющие относительно высокие параметры разброса значений по показателю средней амплитуды ЭМГ, могли иметь небольшую вариативность среднего числа турнов ЭМГ. Например, такая закономерность прослеживалась в лучевом сгибателе кисти левой руки, верхних и нижних пучках трапецевидных мышц левой и правой сторон. Известно, что паттерн интерференционной ЭМГ определяется количеством активированных мотонейронов, частотой их разрядов и степенью синхронизации разрядов потенциалов действия, а также условиями сохранения позы или выполнения движения [12–15]. Вероятно, величины средней амплитуды ЭМГ, характеризующие степень мышечного напряжения и частоты следования биопотенциалов, имеют различные механизмы на определенном уровне организации моторной системы.

Анализируя порядок включения мышц в изучаемом двигательном действии, следует отметить его большую вариативность. Так, лучевой сгибатель кисти правой руки по результатам наших исследований включался в движение первым и последним в практически равном числе наблюдений. Кроме того, данная мышца была активной в каждом из включений по порядку. Аналогичная ситуация наблюдалась и по другим исследуемым мышцам. Таким образом, специфическим, относительно стандартным условиям внешней структуры выполнения двигательного (автоматизированного) действия соответствовали различные паттерны частоты следования биопотенциала-

лов, что отражалось на порядке их включения в движение. Подобный разброс в показателях биоэлектроактивности может быть отражением формы регуляции за счет быстрого чередования противоположных влияний, оказывающих линеаризирующее влияние на моторную систему. Такая линеаризация может упростить задачи управления произвольными движениями посредством использования разных групп мышц с различными нелинейными характеристиками [16–18].

Система скелетных мышц обладает огромным числом физических степеней свободы, что должно затруднять управление ей. Однако этот сложный аппарат может регулироваться посредством довольно простых исполнительных команд. Такие команды осуществляются через «генераторы функций» низшего уровня, находящиеся между управляющим аппаратом и периферией, которые ограничивают широкий диапазон возможных вариаций [19, 20]. Выходные сигналы таких генераторов представляют собой программы синергий, которыми могут являться специфические мышечные группы, имеющие признаки согласованного управления на уровне спинного мозга [6, 21]. Вероятно, признаки такого управления могут проявляться в направленном изменении параметров электроактивности скелетных мышц, являющихся частью предполагаемой синергии. Ответ на этот вопрос в определенной степени может

дать регрессионный анализ. По результатам такого анализа нами были установлены функционально зависимые мышечные группы (синергии), образующиеся в рассматриваемой фазе выстрела, и описана количественная взаимосвязь их параметров ЭМГ.

**Заключение.** В результате проведенных исследований было установлено, что параметры биоэлектрической активности скелетных мышц, характеризующие степень мышечного напряжения и количество активных двигательных единиц, вероятно, имеют разные центральные механизмы управления, что проявляется в отсутствии явной зависимости в показателях их вариативности в изучаемых условиях. Управление системой скелетных мышц, принимающих активное участие в реализации одной из результирующих фаз точного движения, может осуществляться по механизму образования функциональных синергий, что, вероятно, способствует снижению диапазона возможных вариаций параметров электроактивности мышц. Множественный регрессионный анализ может быть использован для выявления признаков согласованной активности мышц, однако для изучения вариативности характеристик ЭМГ мышц, являющихся частью синергий, целесообразней применять методы статистического анализа, учитывающие связь нескольких зависимых переменных одновременно, например метод моделирования нейронных сетей.

### Литература

1. *Ткачук В.Г.* Механизмы вариативности при управлении точностными движениями человека: дис. ... д-ра биол. наук. Киев; 1986. 382.
2. *Ткачук В.Г., Ровный А.С., Леус Л.И.* Функциональное состояние различных сенсорных систем при репродукции спортсменами точностных движений. Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. 2010; 10: 77–81.
3. *Фалалеев А.Г.* Стабильность, вариативность, внутри- и межсистемные взаимосвязи двигательных и вегетативных функций при физических нагрузках: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Ленинград; 1981. 41.
4. *Newell K.E., Corcos D.M.* Variability and motor control. Human Kinetics Publishers. 1993: 1–11.
5. *Latash M.L., Scholz J.P., Shoner G.* Motor control strategies revealed in the structure of motor variability. Exerc. Sport Sci. Rev. 2002; 30: 26–31.
6. *Латаш М.Л.* Структурированная вариабельность как отличительный признак биологических процессов. Вопросы психологии. 2016; 3: 120–126.
7. *Масальгин Н.А., Медведев А.С., Смирнов В.Е.* Математический анализ функциональных резервов спортсменов методами корреляции и регрессии: методическая разработка. М.: РГАФК; 1993. 22.
8. *Радченко С.Г.* Методология регрессионного анализа. Киев: Корнийчук; 2011. 376.

9. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина; 1966. 349.
10. Рокотова Н.А. Мышечная рецепция и регуляция движений. Биология и медицинская кибернетика. 1974; 2: 138–141.
11. Гурфинкель В.С., Левик Ю.С. Зависимость сокращения мышцы от последовательности активирующих импульсов. Биофизика. 1973; 18 (1): 116–121.
12. Персон Р.С. Электромиография в исследованиях человека. М.: Наука; 1969. 231.
13. Герасименко Ю.П., Романов С.П. Методика исследований проприоцептивных рефлексов у человека. В кн.: Гурфинкель В.С., ред. Проблемы физиологии движений. Л.: Наука; 1980: 136–147.
14. Городничев Р.М. Спортивная электронейромиография. Великие Луки; 2005. 227.
15. Команцев В.Н. Методические основы клинической электронейромиографии. СПб.; 2006. 237.
16. Loch J.M. A general linearizing process for non-linear control systems. In: A. Tustin (Eds.). Automatic and manual control. London: Butterworth, Inc.; 1952: 275–283.
17. Айзерман М.А., Андреева Е.А. Простейший поисковый механизм управления скелетными мышцами. Автоматика и телемеханика. 1968; 29 (2): 103–111.
18. Айзерман М.А., Гурфинкель В.С. Исследование процессов управления мышечной активностью. М.: Наука; 1970. 203.
19. Гельфанд И.М., Гурфинкель В.С., Цетлин М.Л., Шик М.Л. Некоторые вопросы исследований движений. В кн.: Гельфанд И.М., Гурфинкель В.С., Фомина С.В., ред. Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем. М.: Наука; 1971: 264–276.
20. Gerasimenko Y., Sayenko D., Gad P., Kozesnik J., Moshonkina T., Grishin A., Pukhov A., Moiseev S., Gorodnichev R., Selionov V., Kozlovskaya I., Edgerton V.R. Electrical spinal stimulation, and imagining of lower limb movements to modulate brain-spinal connectomes that control locomotor-like behavior. *Frontiers in Physiology*. 2018; 19 (9): 1196. DOI: 10.3389/fphys.2018.01196.
21. Sherrington C.S. Flexion-reflex of the limb, crossed extension-reflex and reflex stepping and standing. *J. Physiol*. 1910; 40: 28–121.

## MECHANISM OF VARIABILITY REDUCTION IN THE SYSTEM OF SKELETAL MUSCLE MANAGEMENT IN ATHLETES ACCORDING TO THE PRINCIPLE OF FUNCTIONAL SYNERGY FORMATION

S.A. Moiseev

*Velikiye Luki State Academy of Physical Education and Sports, Velikiye Luki, Russia*

e-mail: sergey\_moiseev@vlgafc.ru

*The question of physiological function variability is of great theoretical interest, since it is a part of the theory of human voluntary movement control. The skeletal muscle control system should probably have a mechanism to reduce or limit the range of its possible variations. Presumably, the organization of the motor system elements according to the principle of muscular synergy is of such a nature.*

*The objective of the work is to study variations and signs of the coordinated bioelectric activity of skeletal muscles in one of the resulting archery phases.*

*Materials and Methods. The study enrolled 5 highly qualified sportsmen (Master of Sport, International Master of Sport). Archers shot 10 series of 3 shots, target distance 18 m, indoors. Simultaneous recording of electrical activity of 12 skeletal muscles of the upper limb girdle and a 3D video sequence was made. The authors analyzed indicators of distribution, descriptive and variation statistics for grouped data. Multiple regression analysis was used to identify signs of consistent muscle activity.*

*Results. Variability magnitudes, characterized by statistical parameters, established for the turn-off-peak characteristics of various muscles, did not have an explicit dependence. Muscles with relatively high scattering parameters in terms of the EMG average amplitude could have a small variation in the average number of EMG turns.*

*The radial flexor of the left hand wrist was a part of muscular synergy in 90 % of cases, the anterior part of the left limb deltoid muscle – in 80 % of cases, the lower and upper beams of the right and left cowl muscle – in 70 % of cases. Other muscles under consideration were their part in less than 60 % of cases.*

*Conclusion. The system of skeletal muscles that are actively involved in the resulting phases of precision movement can be controlled according to the mechanism of functional synergy formation, which probably helps to reduce the range of possible variations in the parameters of muscle electroactivity.*

*Keywords: variability, archery, electromyography, coordination structure, muscle synergy.*

## References

1. Tkachuk V.G. *Mekhanizmy variativnosti pri upravlenii tochnostnyimi dvizheniyami cheloveka* [Variability mechanisms in human precision movement control]: dis. ... d-ra biol. nauk. Kiev; 1986. 382 (in Russian).
2. Tkachuk V.G., Rovnyy A.S., Leus L.I. Funktsional'noe sostoyanie razlichnykh sensorykh sistem pri reproduksii sportsmenami tochnostnykh dvizheniy [Functional state of various sensory systems in athletes during precision movements]. *Pedagogika, psikhologiya i mediko-biologicheskie problemy fizicheskogo vospitaniya i sporta*. 2010; 10: 77–81 (in Russian).
3. Falaleev A.G. *Stabil'nost', variativnost', vnutri- i mezhsystemnye vzaimosvyazi dvigatel'nykh i vegetativnykh funktsiy pri fizicheskikh nagruzkakh* [Stability, variability, intra- and inter-system dependences of motor and vegetative functions during physical loads]: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. Leningrad; 1981. 41 (in Russian).
4. Newell K.E., Corcos D.M. Variability and motor control. *Human Kinetics Publishers*. 1993: 1–11.
5. Latash M.L., Scholz J.P., Schoner G. Motor control strategies revealed in the structure of motor variability. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2002; 30: 26–31.
6. Latash M.L. Strukturirovannaya variabel'nost' kak otlichitel'nyy priznak biologicheskikh protsessov [Structured variability as a distinguishing characteristic of biological processes]. *Voprosy psikhologii*. 2016; 3: 120–126 (in Russian).
7. Masal'gin N.A., Medvedev A.S., Smirnov V.E. *Matematicheskii analiz funktsional'nykh rezervov sportsmenov metodami korrelyatsii i regressii: metodicheskaya razrabotka* [Mathematical analysis of athletes' functional reserves by means of correlation and regression methods: Guidance paper]. Moscow: RGAFK; 1993. 22 (in Russian).
8. Radchenko S.G. *Metodologiya regressionnogo analiza* [Methodology of regression analysis]. Kiev: Korniyuchuk; 2011. 376 (in Russian).
9. Bernshteyn N.A. *Ocherki po fiziologii dvizheniy i fiziologii aktivnosti* [Essays on dynamic physiology and physiology of activity]. Moscow: Meditsina; 1966. 349 (in Russian).
10. Rokotova N.A. Myshechnaya retseptsiya i regulyatsiya dvizheniy [Muscular reception and movement regulation]. *Biologiya i meditsinskaya kibernetika*. 1974; 2: 138–141 (in Russian).
11. Gurfinkel' V.S., Levik Yu.S. Zavisimost' sokrashcheniya myshtsy ot posledovatel'nosti aktiviruyushchikh impul'sov [The dependence of muscle contraction on the sequence of activating impulses]. *Biofizika*. 1973; 18 (1): 116–121 (in Russian).
12. Person R.S. *Elektromiografiya v issledovaniyakh cheloveka* [Electromyography in human studies]. Moscow: Nauka; 1969. 231 (in Russian).
13. Gerasimenko Yu.P., Romanov S.P. Metodika issledovaniy propriotseptivnykh refleksov u cheloveka [Methods of intrinsic reflex research in humans]. In the book: Gurfinkel' V.S., ed. *Problemy fiziologii dvizheniy*. Leningrad: Nauka; 1980: 136–147 (in Russian).
14. Gorodnichev R.M. *Sportivnaya elektroneyromiografiya* [Sports electroneuromyography]. Velikie Luki; 2005. 227 (in Russian).
15. Komantsev V.N. *Metodicheskie osnovy klinicheskoy elektroneyromiografii* [Methodical basis of clinical electroneuromyography]. St. Petersburg; 2006. 237 (in Russian).
16. Loch J.M. A general linearizing process for non-linear control systems. In: A. Tustin (Eds.). *Automatic and manual control*. London: Butterworth, Inc.; 1952: 275–283.
17. Ayzerman M.A., Andreeva E.A. Prosteyshiy poiskovyy mekhanizm upravleniya skeletnymi myshtsami [The simplest search mechanism of skeletal muscle control]. *Avtomatika i telemekhanika*. 1968; 29 (2): 103–111 (in Russian).
18. Ayzerman M.A., Gurfinkel' V.S. *Issledovanie protsessov upravleniya myshechnoy aktivnost'yu* [Investigation of muscle activity control processes]. Moscow: Nauka; 1970. 203 (in Russian).

19. Gel'fand I.M., Gurfinkel' V.S., Tsetlin M.L., Shik M.L. Nekotorye voprosy issledovaniy dvizheniy [Some issues of movement studies]. In the book: Gel'fand I.M., Gurfinkel' V.S., Fomina S.V., ed. *Modeli strukturno-funktional'noy organizatsii nekotorykh biologicheskikh sistem*. Moscow: Nauka; 1971: 264–276 (in Russian).
20. Gerasimenko Y., Sayenko D., Gad P., Kozesnik J., Moshonkina T., Grishin A., Pukhov A., Moiseev S., Gorodnichev R., Selionov V., Kozlovskaya I., Edgerton V.R. Electrical spinal stimulation, and imagining of lower limb movements to modulate brain-spinal connectomes that control locomotor-like behavior. *Frontiers in Physiology*. 2018; 19 (9): 1196. DOI: 10.3389/fphys.2018.01196.
21. Sherrington C.S. Flexion-reflex of the limb, crossed extension-reflex and reflex stepping and standing. *J. Physiol*. 1910; 40: 28–121.