Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 8 (74). 2022. № 1. С. 12–24.

УДК 796.01:612.743:796.332

ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ДОРСИФЛЕКСИЮ СТОПЫ, В РЕЗУЛЬТАТЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ФУТБОЛЬНЫХ ТРЕНИРОВОК

Бобровский Е. А., Привалова И. Л., Бобровская Е. А.

Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия
E-mail: ir_priv@mail.ru

В работе исследовали электрическую активность и функциональные взаимоотношения передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца с использованием поверхностной электромиографии (ПЭМГ). В исследовании приняли участие молодые люди – студенты КГМУ, регулярно посещающие тренировки в секции футбола и участвующие в футбольных матчах (n=26), а также студенты КГМУ, посещающие только занятия по физической культуре (n=52). Полученные данные позволяют судить о функциональной латерализации исследуемых мышц, а также о стратегиях управления их согласованными движениями. Выявленные изменения электрической активности (ЭА) исследуемых мышц, вероятно, отражают результаты систематических футбольных тренировок и играют роль в совершенствовании техники ведения мяча.
Ключевые слова: электрическая активность мышц, передняя большеберцовая мышца, длинный разгибатель большого пальца стопы, корреляционный анализ, футбольные тренировки.

ВВЕДЕНИЕ

Для технической подготовки футболистов существенное значение имеет формирование специфической активности мышц, управляющих движениями голеностопного сустава, стопы и пальцев ног [1]. Передняя большеберцовая мышца (m. tibialis anterior) и длинный разгибатель большого пальца стопы (m. extensor hallucis longus) являются мышцами-синергистами, которые осуществляют дорсифлексию (тыльное сгибание) стопы, разгибание большого пальца, супинацию (инверсию) стопы и поддержание баланса [2]. В литературе описаны нейрофизиологические аспекты деятельности каждой из этих мышц. В частности, проведен подробный параметрический анализ электрических потенциалов и силы сокращений двигательных единиц передней большеберцовой мышцы у здоровых мужчин при изометрических сокращениях и баллистических движениях [3]. Разработаны методы оптимальной оценки отдельных двигательных единиц передней большеберцовой мышцы во время произвольных мышечных сокращений [4]. На больших выборках двигательных единиц доказана взаимосвязь между свойствами мотонейронов и мышечных волокон передней большеберцовой мышцы [5]. Анализ литературных данных позволяет также получить представление о двигательных единицах, включающих длинный разгибатель большого пальца стопы. Известно, что данная мышца иннервируется в основном одиночной ветвью

малоберцового нерва [6]. Двигательные единицы, включающие одиночные мотонейроны и длинный разгибатель большого пальца являются медленными. Этот вывод следует из наблюдений за их электрической активностью, в которых было установлено отсутствие изменений во времени, связанных с утомлением мышцы. [7]. Исследование сократительных реакций отдельных двигательных единиц в длинных разгибателях большого пальца стопы в ответ на микростимуляцию аксонов их мотонейронов показало, что моторный ответ зависит от условий, в которых происходит сокращение (изотонических, изотонических с нагрузкой или изометрических [8]. Однако в настоящее время информация о согласованной активности этой группы мышц и ее изменениях у футболистов практически отсутствует.

Цель данной работы – исследовать изменения электрической активности и функциональных взаимоотношений передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца в результате систематических футбольных тренировок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие молодые люди – студенты Курского государственного медицинского университета (КГМУ), которые были разделены на две группы: студенты КГМУ, посещающие только занятия по физической культуре (n=52) (1 группа «Контроль») и студенты КГМУ, регулярно посещающие тренировки в секции футбола и участвующие в футбольных матчах (n=26) (2 группа «Сборная по футболу»).

У всех было получено информированное согласие на участие в исследовании согласно Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации (WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013) и обработку персональных данных. Программа исследований была одобрена этической комиссией КГМУ.

С помощью метода поверхностной электромиографии (ПЭМГ) производилась запись электрической активности мышц, участвующих в осуществлении дорсифлексии стопы: передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца стопы. Регистрирующие фетровые электроды с фиксированным межэлектродным расстоянием – 2 см располагались в соответствии с анатомическими ориентирами двигательных точек исследуемых мышц [9]. Исследование электрической активности проводилось в режиме максимального произвольного напряжения мышцы. Для стандартизации сигнала участники исследования производили три максимальных изометрических сокращений мышцы длительностью 6 секунд с краткими перерывами между ними. Запись осуществлялась с помощью 8-канального электронейромиографа экспертного класса «Нейро-МВП-8» («Нейрософт», Иваново).

На этапе обработки сигнала проводился турно-амплитудный и спектральный анализ полученных данных. Граница минимальной амплитуды турна была установлена на 100 мкВ. Полученные данные проверяли на нормальность распределения с использованием тестов Шапиро–Уилка. Для оценки

статистической значимости различий между выборками применяли критерий Краскела-Уоллиса, а для оценки функциональных взаимоотношений между параметрами электрической активности мышц рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследовании электрической активности передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца стопы 1-й группы установлено, что медиана максимальных значений амплитуды электрической активности левой передней большеберцовой мышцы на 27,7 % выше, чем правой, а межквартильный интервал – на 32 %. Медиана средних значений амплитуды электрической активности, напротив, была выше для правой передней большеберцовой мышцы на 12,5 %, а межквартильный интервал – на 25,7 %. Средние значения частоты электрической активности не отличались для левой и правой большеберцовых мышц (табл. 1).

Таблица 1

Параметры электрической активности передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца стопы у участников исследования 1-й группы (Me [Q1;Q3])

Параметры ЭА	Макс. ампл., мкВ	Средн. ампл., мкВ	Средн. част., 1/с
Передняя большеберцовая мышца левая	1305,5 [934,5; 1965,5]	463 [385; 665]	280 [180; 324]
Передняя большеберцовая мышца правая	1022 [696,5; 1477,5]**	521 [378, 730]**	268 [196; 322]
Длинный разгибатель большого пальца стопы слева	820 [467; 1282]	350,5 [248; 456]	164 [108; 236]
Длинный разгибатель большого пальца стопы справа	550 [330,5; 950]**	296 [206; 405]**	132 [84; 228]**

Примечания:
* – статистически значимые различия (p<0,05)
** – статистически значимые различия (p<0,01)

Электрическая активность длинного разгибателя большого пальца стопы слева выше, чем справа, что подтверждают более высокие значения медианы максимальной (на 49,1 %) и средней (на 18,4 %) амплитуды электрической активности, а также средней частоты (на 24,2 %). Межквартильные интервалы

значений максимальной и средней амплитуды также были больше для длинного разгибателя большого пальца стопы левой конечности (на 31,6 % и 4,5 % соответственно), а средней частоты – для правой (на 12,5 %) (табл. 1).

Параметры электрической активности контрлатеральных передних большеберцовых мышц участников исследования 2 группы не обнаруживали статистически значимых различий. Статистические значимые различия (p<0,01) наблюдались между амплитудными значениями длинных разгибателей большого пальца левой и правой конечностей. Межквартильный интервал значений максимальной амплитуды электрической активности левой конечности отличался от правой в 1,7 раза, а левой – на 35 % (табл. 2).

Таблица 2

Параметры электрической активности передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца стопы у участников исследования 2-й группы (Me [Q1;Q3])

Параметры ЭА	Макс. ампл., мкВ	Средн. ампл., мкВ	Средн. част., 1/с
Передняя большеберцовая мышца левая	812 [414; 1238]	348 [238; 509]	204 [102; 264]
Передняя большеберцовая мышца правая	752 [415; 1014]	342 [234; 519]	184 [108; 292]
Длинный разгибатель большого пальца стопы слева	706,5 [559; 1264]	306,5 [227; 362]	132 [74; 260]
Длинный разгибатель большого пальца стопы справа	670 [452; 874]**	296 [233; 333]**	128 [96; 220]

Примечания:
* – статистически значимые различия (p<0,05)
** – статистически значимые различия (p<0,01)

Выявленные различия в электрической активности мышц левой и правой конечностей с использованием метода поверхностной электромиографии можно считать проявлением функциональной латерализации [10].

При сравнении параметров электрической активности передних большеберцовых мышц у участников исследования 2-й группы установлено, что все параметры электрической активности имеют статистически значимые различия по сравнению с теми же параметрами участников исследования 1-й группы как правой, так и левой конечностей (табл. 1, 2).

Медиана значений максимальной амплитуды электрической активности левой передней большеберцовой мышцы участников исследования 2-й группы была ниже

значений 1-й группы на 60,7 %, а межквартильный интервал – на 25,1 %. Медиана значений средней амплитуды электрической активности этой же мышцы участников исследования 2-й группы была ниже значений 1-й группы на 60,7 %. Амплитудные значения электрической активности правой передней большеберцовой мышцы участников исследования 2-й группы также были ниже по сравнению со значениями 1-й группы. Медиана значений максимальной амплитуды – на 35 %, средней амплитуды – на 52,3 %, а межквартильного интервала – на 30,4 % и 23,5 % соответственно (рис. 1).

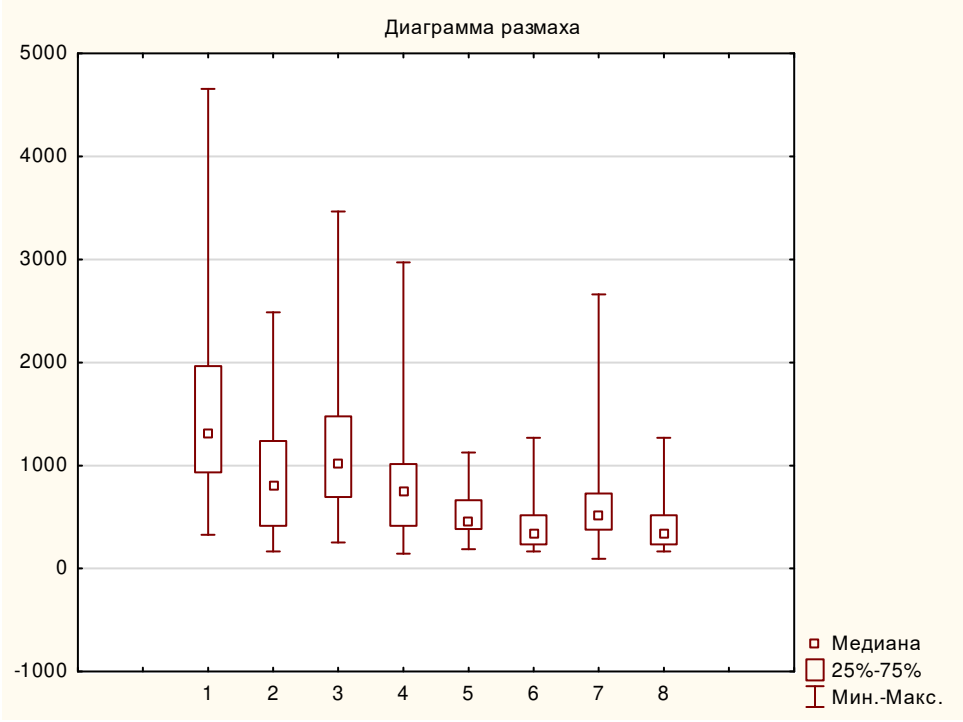

Рис. 1. Амплитудные характеристики электрической активности передней большеберцовой мышцы участников исследования 1-й и 2-й групп.

Примечания:

1– 4 – макс. ампл., мкВ:

1 – левая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
2 – левая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)
3 – правая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
4 – правая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)

5–8 – средн. ампл., мкВ:

5 – левая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
6 – левая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)
7 – правая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
8 – правая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)

Снижение вариабельности амплитудных значений электрической активности передних большеберцовых мышц у участников исследования 2-й группы характеризует ее упорядоченность. Более низкие значения медианы свидетельствуют о более экономичном функционировании мышц.

Медианы средних значений частоты электрической активности передних большеберцовых мышц были ниже у участников исследования 2-й группы по сравнению с 1-й группой слева – на 37,3 %, а справа – на 45,7 %. Межквартильный размах значений частоты электрической активности слева был меньше на 12,5 %, а справа – на 46 % больше (рис. 2).

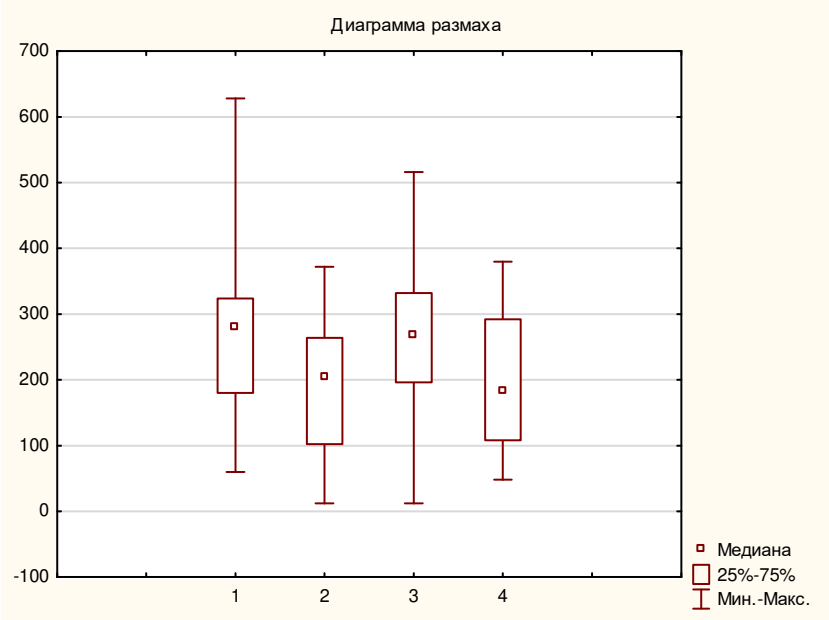

Рис. 2. Частотные характеристики электрической активности передней большеберцовой мышцы участников исследования 1-й и 2-й групп (ср. част., 1/с)
Примечания:
1 – левая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
2 – левая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)
3 – правая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
4 – правая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)

Сравнение частотных характеристик ЭА передней большеберцовой мышцы подтвердило экономичность функционирования у участников исследования 2-й группы, проявляющееся снижением значений медианы. Более высокая вариабельность значений частоты ЭА правой мышцы, вероятно, свидетельствует об увеличении степеней свободы [11].

При сравнении показателей электрической активности длинных разгибателей большого пальца стопы у участников исследования 2-й группы наблюдались

отличия от 1-й группы по средним значениям амплитуды ЭА. Это выражалось в том, что величина межквартильного интервала у участников исследования 2-й группы была ниже в 1,5 раза для левой конечности и в 2 раза – для правой (рис. 3).

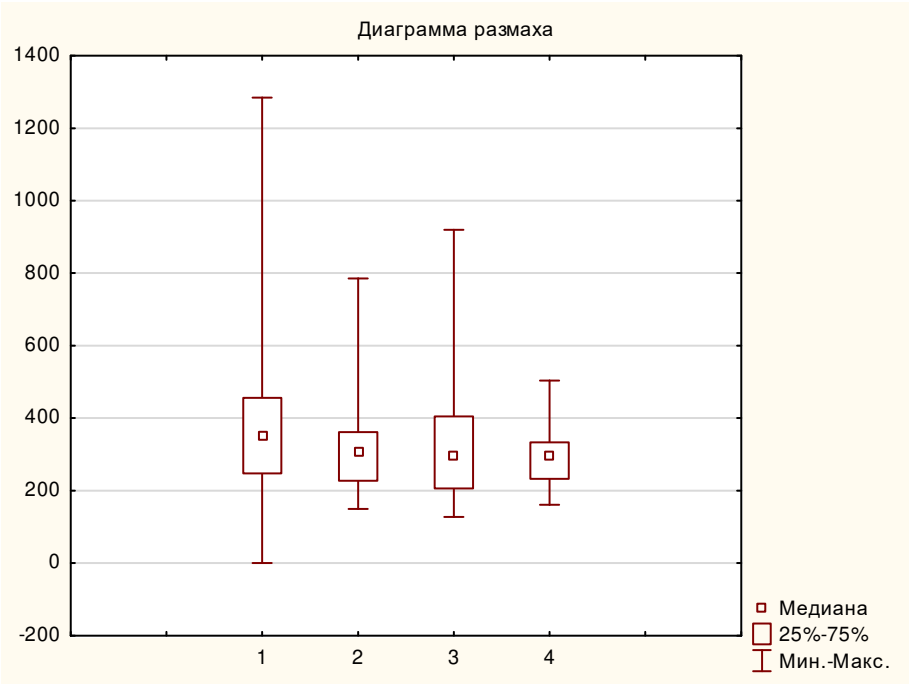

Рис. 3. Амплитудные характеристики электрической активности длинного разгибателя большого пальца участников исследования 1-й и 2-й групп (средн. ампл., мкВ)

Примечания:

1 – длинный разгибатель большого пальца слева (1-я группа)
2 – длинный разгибатель большого пальца слева (2-я группа)
3 – длинный разгибатель большого пальца справа (1-я группа)
4 – длинный разгибатель большого пальца справа (2-я группа)

Полученные данные доказывают высокую упорядоченность электрической активности исследуемых мышц у футболистов сборной КГМУ, что, вероятно, является результатом систематических тренировок.

Различия в частотных характеристиках ЭА длинных разгибателей большого пальца стопы наблюдались лишь для левой конечности. Значения медианы частоты электрической активности длинных разгибателей большого пальца стопы слева у участников исследования 2-й группы были ниже на 24,2 %, а межквартильный интервал больше на 45,3 %, чем у участников исследования 1-й группы (рис. 4).

Эти результаты могут свидетельствовать о большем количестве степеней свободы для средних значений частоты ЭА длинного разгибателя большого пальца стопы левой ноги, что увеличивает возможности эффективного владения мячом.

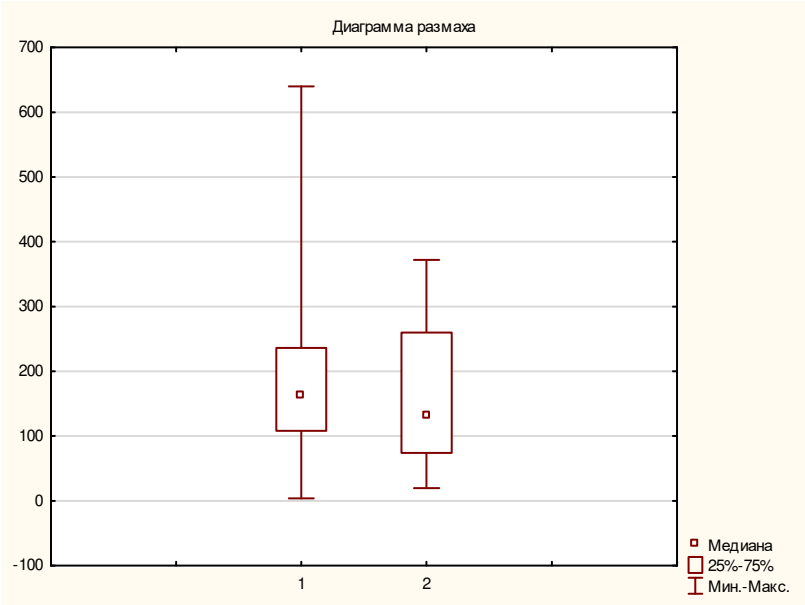

Рис. 4. Частотные характеристики электрической активности длинных разгибателей большого пальца стопы слева участников исследования 1-й и 2-й групп (ср. част., 1/с)

Примечания:

1 – длинный разгибатель большого пальца стопы слева (1-я группа)

2 – длинный разгибатель большого пальца стопы слева (2-я группа)

Полученные данные подвергались также корреляционному анализу, результаты которого представлены в таблице 3.

Анализ функциональной сопряженности исследуемых мышц показал, что между показателями ЭА левой и правой передней большеберцовых мышц участников исследования 1-й группы имеются положительные корреляционные связи средней силы. У участников исследования 2-й группы значения коэффициента корреляции, отражающих функциональные взаимосвязи по амплитудным значениям ЭА, были несколько ниже, а по частоте ЭА – выше.

Для длинных разгибателей большого пальца стопы у участников исследования 1-й группы были обнаружены положительные корреляционные связи средней силы между значениями максимальной и средней амплитуды электрической активности левых и правых мышц. У участников исследования 2-й группы между этими значениями были выявлены сильные положительные корреляционные связи. В то время как между значениями средней частоты электрической активности наблюдались слабые положительные корреляционные связи.

Корреляционный анализ электрической активности исследуемых мышц-синергистов левой и правой конечностей позволил установить, что у участников исследования 1-й группы между амплитудными значениями электрической активности передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца стопы левой конечности обнаруживались корреляционные связи средней силы, а между значениями их частоты – слабые (табл. 3).

Таблица 3

Корреляции частотно-амплитудных характеристик электрической активности передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца стопы (значения r)

Сопоставляемые мышцы	Группы участников исследования	Макс. ампл., мкВ	Средн. ампл., мкВ	Средн. част., 1/с
Передняя большеберцовая мышца левая – передняя большеберцовая мышца правая	1-я группа	0,626*	0,509*	0,452*
	2-я группа	0,535*	0,355*	0,615*
Длинный разгибатель большого пальца стопы слева – длинный разгибатель большого пальца стопы справа	1-я группа	0,327*	0,224*	0,015
	2-я группа	0,663*	0,587*	0,155*
Передняя большеберцовая мышца левая – длинный разгибатель большого пальца стопы слева	1-я группа	0,584*	0,535*	0,129*
	2-я группа	0,732*	0,597*	0,547*
Передняя большеберцовая мышца правая – длинный разгибатель большого пальца стопы справа	1-я группа	0,229*	0,438*	0,236*
	2-я группа	0,252*	0,018	-0,475*

Примечания: * – статистически значимые значения r ($p<0,05$)

У участников исследования 2-й группы положительные корреляционные связи средней силы обнаруживались между средними значениями амплитуды и частоты ЭА, а между максимальными значениями амплитуды ЭА корреляционные связи были сильными. Для исследуемых мышц правой конечности во 2-й группе исследования, напротив, положительные корреляционные связи были менее тесными или отсутствовали (по амплитудным значениям электрической

активности), а по частоте ЭА наблюдались отрицательные корреляционные связи средней силы (табл. 3).

Полученные данные можно интерпретировать с помощью синергетического подхода, в соответствии с которым мышечные синергии являются строительными блоками для регуляции движений центральной нервной системой. [12]. Центральная нервная система регулирует движение, объединяя небольшие группы мышц, что приводит к преобразованию программы движения на уровне задач в пространственно-временные паттерны мышечной активации. Важно, что межиндивидуальная вариабельность мышечных паттернов не влияет на результаты исследований, так как разные испытуемые в разных механических условиях используют одни и те же стратегии регуляции движений [13]. Выделяют две стратегии: мышечный паттерн, увеличивающий жесткость системы (отклонение возмущений) и мышечный паттерн, увеличивающий гибкость системы (повышение эффективности активного реагирования) [14]. Результаты корреляционного анализа подтверждают, что у футболистов сборной КГМУ имеются более тесные функциональные взаимосвязи между исследуемыми мышцами-синергистами левой конечности, что свидетельствует об увеличение жесткости данной системы мышц. Для правой конечности, напротив, система мышц: передняя большеберцовая мышца – длинный разгибатель большого пальца становится более гибкой. Таким образом, можно считать, что нами показаны периферические проявления реализации двигательной стратегии для исследуемых мышц-синергистов у футболистов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании данных об электрической активности мышц, полученных с помощью поверхностной электромиографии, можно судить об отсутствии функциональной латерализации передних большеберцовых мышц у молодых людей, систематически участвующих в футбольных тренировках.
2. Амплитудные характеристики электрической активности передних большеберцовых мышц и мышц-разгибателей большого пальца стопы у футболистов менее вариабельны, что свидетельствует о более жестком регулировании исследуемых мышц-синергистов.
3. Средние значения частоты электрической активности правой передней большеберцовой мышцы и левого длинного разгибателя большого пальца стопы у футболистов более вариабельны, что является отражением гибкого регулирования электрической активности исследуемых мышц.
4. Двигательная стратегия управления группой мышц: передняя большеберцовая мышца – длинный разгибатель большого пальца у футболистов направлена на увеличение жесткости данной системы для левых мышц и уменьшение ее для правых.
5. Выявленные изменения электрической активности мышц, осуществляющих дорсифлексию стопы, характеризуют результаты систематических футбольных тренировок и играют роль в совершенствовании техники ведения мяча.

Список литературы

1. Киркендалл Д. Анатомия футбола / Д. Киркендалл; пер. с англ. С. Э. Борич. – Минск: Попурри, 2012. – 240 с.
2. Lezak B. Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Extensor Hallucis Longus Muscle / B. Lezak, S. Summers // In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2021.
3. Desmedt J. E. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle / J. E. Desmedt, E. Godaux // J. Physiol. – 1977. – Vol. 264, No 3. – P. 673–693.
4. Farina D. Assessment of single motor unit conduction velocity during sustained contractions of the tibialis anterior muscle with advanced spike triggered averaging / D. Farina, L. Arendt-Nielsen, R. Merletti, T. Graven-Nielsen // Journal of Neuroscience Methods. – 2002. – Vol. 115, No 1. – P. 1–12.
5. Del Vecchio A. Distribution of muscle fibre conduction velocity for representative samples of motor units in the full recruitment range of the tibialis anterior muscle / A. Del Vecchio, F. Negro, F. Felici, D. Farina // Acta Physiol. (Oxf). – 2018. – Vol. 222, Iss. 2.
6. Elgafy H. Extensor hallucis longus innervation: an anatomic study. / H. Elgafy, N. A. Ebraheim, P. E. Shaheen, R. A. Yeasting // Clin. Orthop. Relat. Res. – 2002. – Vol. 398. – P. 245–51.
7. Macefield V. G. Discharge behaviour of single motor units during maximal voluntary contractions of a human toe extensor / V. G. Macefield, A. J. Fuglevand, J. N. Howell, B. Bigland-Ritchie // J. Physiol. – 2000. – Vol. 528 (Pt 1). – P. 227–234.
8. Leitch M. Comparison of contractile responses of single human motor units in the toe extensors during unloaded and loaded isotonic and isometric conditions / M. Leitch, V. G. Macefield // J. Neurophysiol. – 2015. – Vol. 114, No 2. – P. 1083–1089.
9. Николаев С. Г. Атлас по электромиографии / С. Г. Николаев: — Иваново: ИП К «ПресСто», 2010. – 468 с.
10. Брагина Н. Н. Функциональные асимметрии человека. 2-е изд., перераб. и доп. / Н. Н. Брагина, Т. А. Доброхотова – М.: Медицина. – 1988. – 237 с.
11. Бернштейн Н. А. Физиология движений и активность: [Сборник] / Н. А. Берштейн: Изд. подгот. И. М. Фейгенберг; Под ред. О. Г. Газенко; – М.: Наука, 1990. – 494 [1] с.
12. Mehrabi N. Can altered muscle synergies control unimpaired gait? / N. Mehrabi, M. H. Schwartz, K. M. Steele // J. Biomech. – 2019. – Vol. 90. – P. 84–91.
13. Esmaeili J. Comparison of muscle synergies extracted from both legs during cycling at different mechanical conditions / J. Esmaeili, A. Maleki // Australas Phys Eng Sci Med. – 2019. – Vol. 42, No. 3. – P. 827–838.
14. Bunderson N. E. Reduction of neuromuscular redundancy for postural force generation using an intrinsic stability criterion / N. E. Bunderson, T. J. Burkholder, L. N. Ting // J. Biomech. – 2008. – Vol. 41. – P. 1537–1544.

CHANGES IN THE ELECTRICAL ACTIVITY OF THE FEET DORSIFLEXION MUSCLES AS A RESULT OF SYSTEMATIC FOOTBALL TRAINING

Bobrovsky E. A., Privalova I. L., Bobrovsky E. A.

Kursk State Medical University, Kursk, Russia
E-mail: ir_priv@mail.ru

The goal of this research is to investigate changes in the electrical activity and functional relationships of the tibilais anterior and abductor pollicis longus muscles as a result of regular football training sessions. The study engaged young people from the Kursk State Medical University (KSMU): Group 1, also referred to as the "observational group" – students attending only Physical Education classes (n=52) and Group 2,

represented here as a "Football team" – students attending football practice sessions and participating in football matches on a regular basis (n=26). In the observational group, the median of the maximum values of the indicators for assessing the activity of the left tibilais anterior muscle in the study subjects was 27.7 % higher than of the right one, and the interquartile range was 32 % higher. The median of the electrical activity mean observation, on the contrary, was higher for the right tibilais anterior muscle by 12.5 %, and the interquartile range was higher by 25.7 %. These differences in the EA of the muscles of the left and right limbs can be considered as a sign of functional lateralization. It has not been identified for the tibialis anterior muscles in youth, who attend football practice sessions on a regular basis. At the same time, The amplitude response of the EA of the tibilais anterior muscles and the abductor pollicis longus of the study subjects of the 2nd group was less variable ($p<0.01$). The interquartile range for evaluating the activity of the left limb differed from the right by 1.7 times. The comparative analysis of the evaluation of the characteristics of the EA values of the tibilais anterior muscles and abductor pollicis longus of study subjects from the groups 1 and 2 revealed their greater variability in the second group. The interquartile range of EA values of the left tibilais anterior muscle was lower by 25.1 %, the right one – by 30.4 %. The interquartile range of mean EA values of the right tibilais anterior muscle in football players was less than 23.5 % compared with the values of the study subjects in the observational group. The variability of the midvalues of the EA amplitude of the abductor pollicis longus of the left limb was 1.5 times less in football players, and that of the right limb – was 2 times less. These results are probably occasioned by the transition of the muscles under study to a more sparing regulation level. At the same time, interquartile ranges show that rates of EA in the right tibilais anterior muscle and the left abductor pollicis longus in football players are more variable (by 46 % and 45.3 %, respectively), which is probably indicative of the flexible regulation of the EA of the muscles under study.The results of the correlation analysis substantiate that football players have closer functional interrelationships between the studied synergistic muscles of the left limb, which is illustrative of an increase in the rigidity of this muscle apparatus. And on the contrary – for the right limb the muscle apparatus of the tibilais anterior and abductor pollicis longus system becomes more flexible. Summing up what has been said, the study shows the peripheral manifestations of embodying the kinetic strategy for the studied synergistic muscles in football players.

***Keywords*:** myoelectrical activity, *tibilais anterior* muscle, *abductor pollicis longus*, correlation analysis, football training sessions.

References

1. Kirkendall D., Donald T. *Soccer anatomy, Champaign,* interpreted by S.E. Borich, Minsk, Popurri, 240 p. (2012).
2. Lezak B., Summers S. *Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Extensor Hallucis Longus Muscle,* In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); (2021).
3. Desmedt J. E., Godaux E. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle, *J. Physiol.*, **264**, 673 (1977).
4. Farina D., Arendt-Nielsen L., Merletti R., Graven-Nielsen T. Assessment of single motor unit conduction velocity during sustained contractions of the tibialis anterior muscle with advanced spike triggered averaging, *Journal of Neuroscience Methods*., **115**, 1 (2002).

5. Del Vecchio A., Negro F., Felici F., Farina D. Distribution of muscle fibre conduction velocity for representative samples of motor units in the full recruitment range of the tibialis anterior muscle, *Acta Physiol. (Oxf)*, **222**, Iss. 2. (2018).
6. Elgafy H., Ebraheim N. A., Shaheen P. E., Yeasting R. A. Extensor hallucis longus innervation: an anatomic study, *Clin. Orthop. Relat. Res.* **398**, 245 (2002).
7. Macefield V. G. Fuglevand A. J., Howell J. N., Bigland-Ritchie B. Discharge behaviour of single motor units during maximal voluntary contractions of a human toe extensor, *J. Physiol.*, **528** (Pt 1), 227 (2000).
8. Leitch M., Macefield V. G. Comparison of contractile responses of single human motor units in the toe extensors during unloaded and loaded isotonic and isometric conditions, *J. Neurophysiol*, **114**, 1083 (2015).
9. Nikolaev S. G. *Atlas on electromyography*, 468 p. (Ivanovo, PresSto, 2010).
10. Bragina N. N., Dobrokhotova T. A. *Functional Asymmetries in Humans*, 2nd ed., revised, 237p. (M: Meditsina, 1988).
11. Bernstein N.A. *Physiology of movements and activity*, 494 p. (M.: Nauka,1990).
12. Mehrabi N., Schwartz M. H., Steele K. M. Can altered muscle synergies control unimpaired gait? *J. Biomech*, **90**, 84 (2019).
13. Esmaeili J., Maleki A. Comparison of muscle synergies extracted from both legs during cycling at different mechanical conditions, *Australas Phys Eng Sci Med.*, **42**, 827 (2019).
14. Bunderson N. E., Burkholder T. J. Ting L. N. Reduction of neuromuscular redundancy for postural force generation using an intrinsic stability criterion , *J. Biomech.*, **41**, 1537 (2008).