

УДК 796.011.422.12:612.741

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ВТОМИ НЕРВОВО-М'ЯЗОВОГО АПАРАТУ СПОРТСМЕНІВ-СПРИНТЕРІВ ПІД ВПЛИВОМ ЛОКАЛЬНИХ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Любомир **ВОВКАНИЧ**¹, Станіслав **КРАСЬ**¹, Соломія **КЛЕБАН**²

¹Львівський державний університет фізичної культури, м. Львів, Україна,

²Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна,
e-mail: lsvovkanych@gmail.com

Анотація. Аналіз змін електричної активності м'язів спортсменів під час фізичних навантажень поглиблює розуміння механізмів розвитку втоми та є перспективним для неінвазивного оцінювання композиції м'язів. Метою дослідження було вивчити зміни інтерференційної електроміограми (ІЕМГ) спринтерів у процесі розвитку втоми. Досліджувані (19 бігунів-спринтерів із кваліфікацією КМС–МС) виконували серію максимальних статичних та субмаксимальних динамічних навантажень. За максимальних статичних навантажень виявлено зниження сили скорочень на 37,2%, середньої амплітуди ІЕМГ – на 21,0% та середньої частоти ІЕМГ – на 26,6%. Зниження амплітуди, швидкості напруження та розслаблення м'язів (на 43,2%, 20,9% та 34,8% відповідно) під час субмаксимальних динамічних зусиль не супроводжувалося статистично значущими змінами показників ІЕМГ.

Ключові слова: спринтери, статичні навантаження, динамічні навантаження, втома, електроміографія, ергографія.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ УТОМЛЕНИЯ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА СПОРТСМЕНОВ- СПРИНТЕРОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЛОКАЛЬНЫХ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Любомир **ВОВКАНЫЧ**¹,
Станислав **КРАСЬ**¹, Соломія **КЛЕБАН**²

¹Львовский государственный университет
физической культуры, г. Львов, Украина,

²Львовский национальный университет
имени Ивана Франко, г. Львов, Украина,
e-mail: lsvovkanych@gmail.com

Аннотация. Анализ изменений электрической активности мышц спортсменов во время физических нагрузок углубляет понимание механизмов развития усталости, перспективен для неинвазивной оценки композиции мышц. Целью исследования было изучить изменения интерференционной электромиограммы (ИЭМГ) спринтеров в процессе развития утомления. Исследуемые (19 бегунов-спринтеров квалификации КМС–МС) выполняли серию максимальных статических и субмаксимальных динамических нагрузок. При максимальных статических нагрузках выявлено снижение на 37,2% силы сокращения, на 21,0% – средней амплитуды ИЭМГ и на 26,6% – средней частоты ИЭМГ. Снижение при субмаксимальных динамических усилиях амплитуды скорости напряжения и расслабления мышц (на 43,2%, 20,9% и 34,8% соответственно) не сопровождалось статистически значимыми изменениями показателей ИЭМГ.

Ключевые слова: спринтеры, статические нагрузки, динамические нагрузки, усталость, электромиография, эргография.

PECULIARITIES OF FATIGUE DEVELOPMENT OF THE NEUROMUSCULAR SYSTEM OF SPRINTERS DURING THE LOCAL STATIC AND DYNAMIC LOADS

Lyubomyr **VOVKANYCH**¹,
Stanislav **KRAS**¹, Solomiia **KLEBAN**²

¹Lviv State University of Physical Culture,
Lviv, Ukraine,

²Ivan Franko National University of Lviv, Lviv,
Ukraine, e-mail: lsvovkanych@gmail.com

Abstract. The analysis of changes in the electrical activity of the athletes' muscles during exercise clears the mechanisms of fatigue development and is promising for non-invasive assessment of muscle composition. We aim in study of the changes in the surface electromyogram (sEMG) of sprinters during the fatigue development. Participants (19 sprinters, MS and CM) performed a series of maximal static and submaximal dynamic loads. The decrease in contraction force by 37.2%, the average amplitude of sEMG by 21.0% and average sEMG frequency by 26.6% was found during maximal static loads. The decline in the amplitude, muscle contraction and relaxation speed (43.2%, 20.9% and 34.8%, respectively) was not accompanied by significant changes in sEMG indices during submaximal dynamic loads.

Keywords: sprinters, static loads, dynamic loads, fatigue, electromyography, ergography.

Постановка проблеми. На сьогодні відомо [7, 23], що однією з генетично детермінованих ознак є співвідношення м'язових волокон різного типу в складі скелетних м'язів людини (композиція м'язів). Особливості композиції м'язів є вагомим фактором спортивного добору та дають змогу оптимізувати і пришвидшити підготовку спортсменів. Доказом цього є наявність особливостей у співвідношенні волокон різних типів, виявлених в елітних спортсменів багатьох видів спорту [16, 29]. Яскраво вираженою є ця різниця між представниками швидко-силових видів спорту та видів спорту, у яких домінують якості витривалості [13]. Отож сьогодні пошук неінвазивних методів оцінювання композиції м'язів спортсменів є актуальною проблемою.

Одним із перспективних методів оцінювання композиції МВ є аналіз особливостей інтерференційної електроміограми (ІЕМГ) та динаміки розвитку втоми м'язів спортсменів з різною спрямованістю тренувального процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення механізмів розвитку втоми скелетних м'язів людини є невід'ємною частиною фізіології спорту, фізичного виховання та трудових процесів. Одним із факторів, який визначає індивідуальні особливості адаптивної відповіді на фізичні навантаження, є композиція м'язових волокон спортсменів. Відомо, що м'язові волокна різних типів чи м'язи з різною композицією волокон відрізняються кількома характеристиками, зокрема максимальною швидкістю скорочення, піковою та ізометричною силою, швидкістю розвитку втоми [17, 18, 23, 29]. Детальний аналіз кривої скорочення м'яза лежить в основі методик неінвазивного оцінювання генетично зумовлених властивостей м'язової тканини [7]. Існують спроби сформулювати критерії оцінювання композиції на основі аналізу відносної сили м'яза [5]

У сучасній науковій літературі наявна низка публікацій, присвячених дослідженню змін електричної активності м'язів у процесі розвитку втоми [9, 12, 14, 24]. Проте отримані дані суперечливі, що пов'язано з наявністю багатьох факторів, які впливають на показники інтерференційної електроміограми (ІЕМГ). До них належать зміни електричних властивостей тканин, швидкісних характеристик проведення збудження, форми і амплітуди окремих потенціалів дії, а також використання авторами різних величин навантажень та різної форми скорочень м'язів [20]. У більшості публікацій аналізують амплітудні характеристики ІЕМГ (амплітуду або RMS) [9, 10, 12, 14, 15, 19, 24], частотні характеристики ІЕМГ (середню потужність, медіанну потужність, спектральний розподіл потужності) [9, 12, 14, 15, 24] та швидкість проведення збудження [20]. Проте ми не виявили публікацій, присвячених вивченню особливостей розвитку втоми м'язів спортсменів з певною спрямованістю тренувального процесу в умовах виконання навантажень різної сили та різної форми скорочень. Вважаємо, що вивчення особливостей ІЕМГ у цих умовах, а також порівняння отриманих показників з особливостями електричної активності спортсменів з іншою спрямованістю тренувального процесу дасть змогу детальніше описати механізми розвитку втоми та сформулювати нові підходи до оцінювання композиції м'язової тканини.

Мета дослідження – вивчити особливості інтерференційної електроміограми м'язів спортсменів-спринтерів, що виникають у процесі розвитку втоми під час виконання статичних та динамічних навантажень.

Методи та організація дослідження. У дослідженні взяли участь 19 осіб чоловічої статі (бігунів на дистанцію 100–400 м, спортивна кваліфікація – КМС–МС). Під час аналізу статичних навантажень досліджувані виконували серію максимальних скорочень (тривалість скорочення – 1 с, проміжок між скороченнями – 2 с) загальною тривалістю 3 хв під метроном Fzone FM-100. Величину зусилля (кг) вимірювали за допомогою електронного динамометра ЕН-101.

Для аналізу динамічних навантажень досліджувані виконували серію динамічних скорочень тривалістю 3 хв, частотою 30 скорочень за хвилину з використанням комп'ютеризованого ергографа Моссо [6]. Вага тягарця – 2 кг. Аналізували ергограму з використанням програмного забезпечення «Ergo» (розробник – В. Соколовський) [6]. Визначали амплітуду та швидкість переміщення тягарця.

Реєстрацію інтерференційної електроміограми (ІЕМГ) виконували за допомогою електроміографа «Нейро-МВП-Микро» (ООО «Нейрософт», Російська Федерація) згідно зі стандартними вимогами [8, 28]. Використовували аргентум-хлорні одноразові електроди. Під час запису інтерференційної (поверхневої) електроміограми (ІЕМГ) реєструвальний електрод розташовували на шкірі досліджуваного над ділянкою локалізації моторної точки *m. palmaris longus* [8, 28]. Відстань між електродами становила 3 см. За допомогою програмного забезпечення «Нейро-МВП. NET» (версія 3.01.29.0) визначали такі показники ІЕМГ: середню амплітуду (мВ) та середню частоту (Гц).

Отримані показники аналізували за загальноприйнятими методами статистики з використанням математичних і статистичних функцій програми Microsoft Office Excel 2010 та 11.5 [4]. Для міжгрупового порівняння використовували t-критерій Стьюдента. З метою оцінювання впливу фактора тривалості роботи на зареєстровані показники використали однофакторний дисперсійний аналіз.

Виклад основного матеріалу. У процесі розвитку втоми виявлено суттєві зміни скоротливих властивостей та електрофізіологічних характеристик м'язів. Зокрема, в серії максимальних статичних скорочень (рис. 1 а) виявлено зниження максимального зусилля м'язів до 62,8% від початкового рівня.

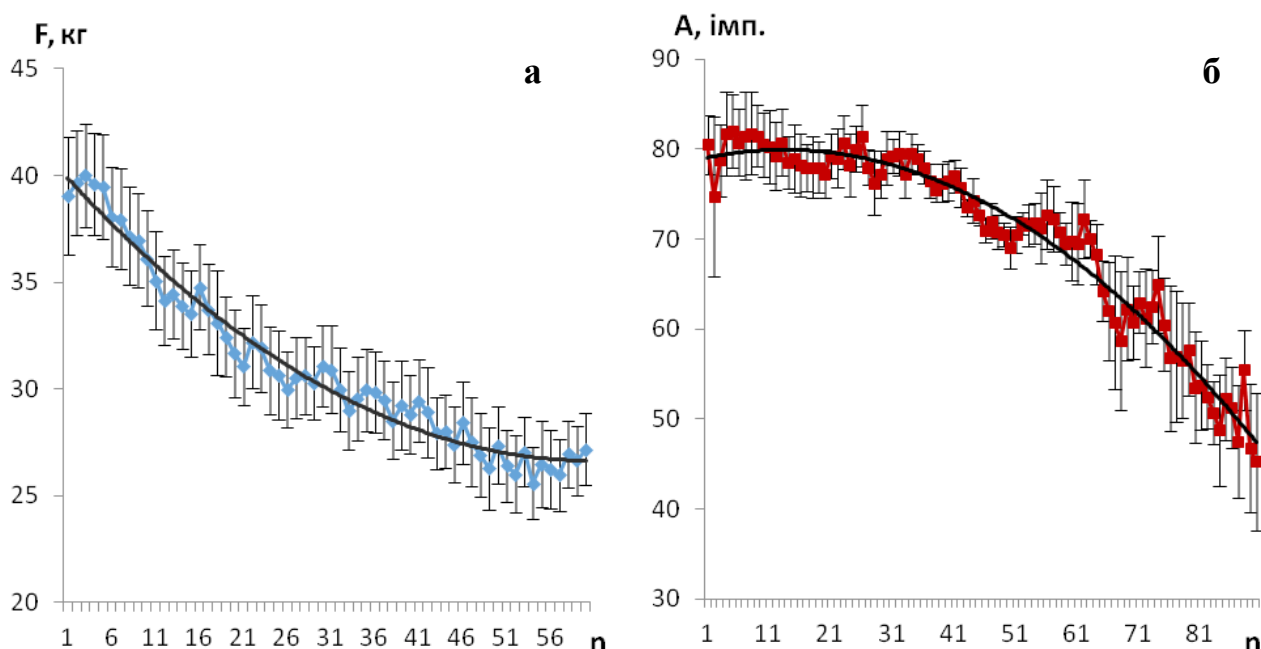


Рис. 1. Зміни сили (F, кг) та амплітуди (A, імп.) скорочення скелетних м'язів передпліччя спринтерів під час статичних (а) та динамічних (б) навантажень. Вказано усереднені значення та лінію часового тренду; n – порядковий номер скорочення

Максимальна амплітуда руху тягарця на ергографі Моссо (рис. 1 б) за той самий період часу (3 хв) зменшилася до 56,8% від початкової ($p < 0,05$). Зміни максимального зусилля та амплітуди руху підтверджуються результатами дисперсійного аналізу ($F = 6,83$, $F_{\text{крит}} = 1,33$) та вказують на розвиток втоми. Відсутність суттєвих змін амплітуди динамічних скорочень упродовж першої хвилини роботи можна пояснити поступовою мобілізацією функціональних резервів за механізмом рекрутування додаткових рухових одиниць (РО) та високим рівнем витривалості дрібних і середніх рухових одиниць.

Для детальнішої характеристики розвитку втоми ми також проаналізували швидкісні показники вкорочення і розтягування (розслаблення) м'язів під час динамічних скорочень (рис. 2).

Максимальна швидкість підйому тягарця (скорочення м'язів) упродовж 3 хв динамічних навантажень на ергографі Моссо зменшилася до 79,12%, а його опускання (розслаблення м'язів) – до 65,2% від початкового рівня ($p < 0,05$). Вагомість впливу фактора втоми на швидкість розслаблення м'язів підтверджено даними дисперсійного аналізу ($F = 1,88$, $F_{\text{крит}} = 1,27$).

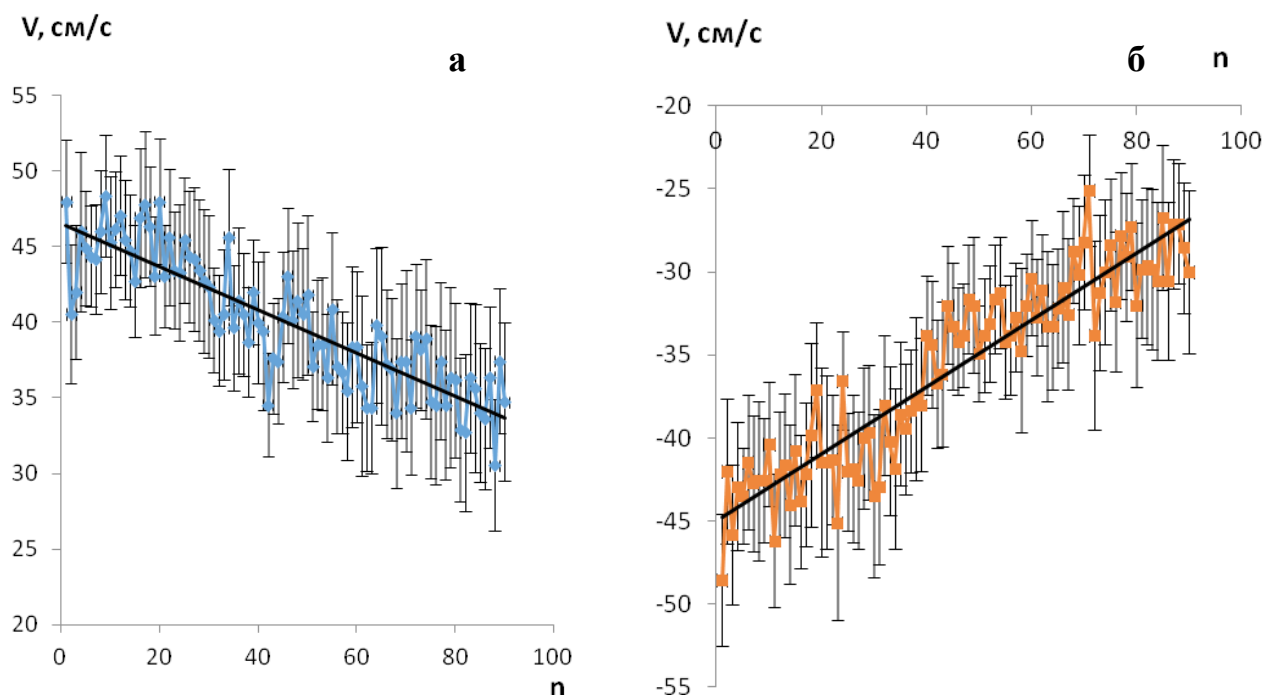


Рис. 2. Зміни максимальної швидкості (V, см/с) вкорочення (а) та розтягування (б) скелетних м'язів передпліччя спринтерів під час динамічних навантажень. Вказано усереднені значення та лінію часового тренду; n – порядковий номер скорочення

Таким чином, виявлено суттєве погіршення силових та швидкісних показників скоротливості м'язів під час серії статичних та динамічних скорочень. Надалі ми проаналізували зміни електрофізіологічних властивостей м'язів у цих умовах.

Виявлено, що середня амплітуда ІЕМГ м'язів спринтерів у процесі розвитку втоми під час статичних скорочень зменшувалася до 79,0% від початкового рівня (рис. 3).

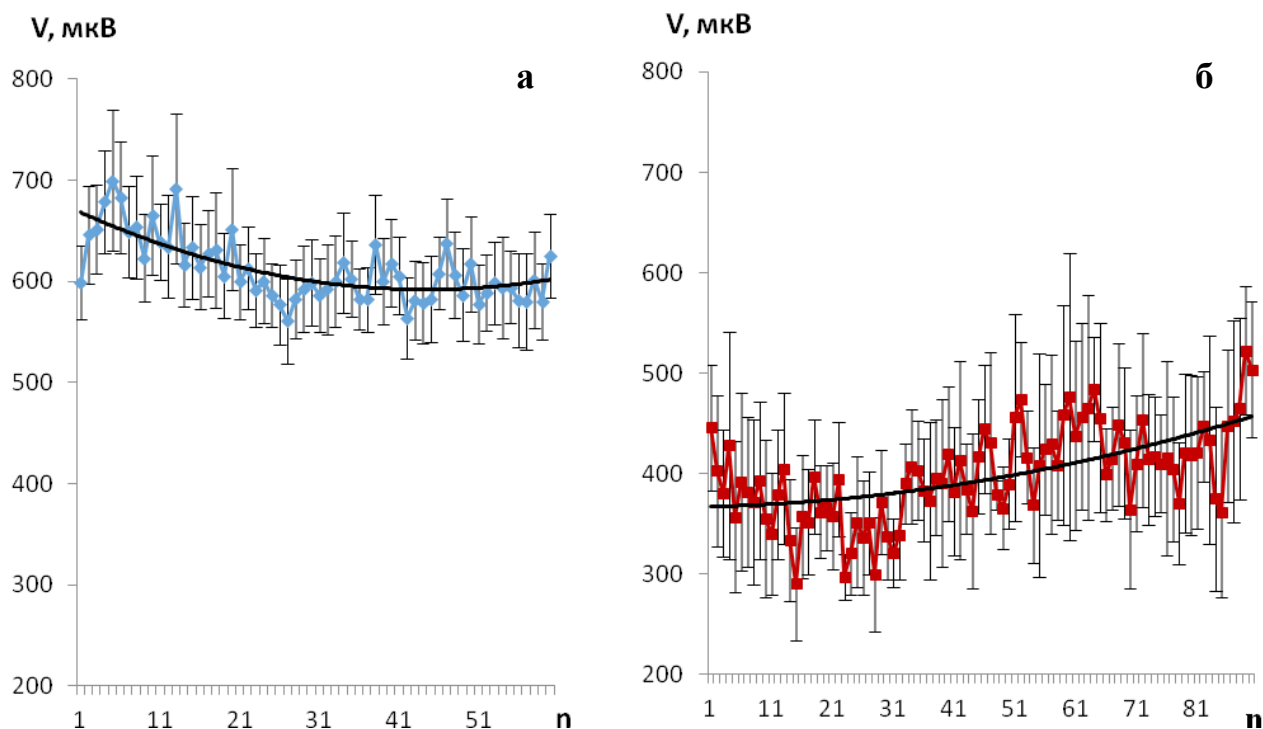


Рис. 3. Зміни середньої амплітуди (V, мкВ) ІЕМГ скелетних м'язів передпліччя спринтерів під час статичних (а) та динамічних (б) навантажень. Відображено середні значення та лінію часового тренду; n – порядковий номер скорочення

Статистично достовірне (за t-критерієм) зниження зареєстровано у 25-ти випадках (з 60-ти) після 20-го скорочення. Дисперсійний аналіз не дав змоги підтвердити суттєвий вплив фактора втоми на амплітуду ІЕМГ ($F = 0,50$, $F_{\text{крит}} = 1,33$). Вірогідною причиною цього є значні індивідуальні коливання початкового рівня показника. Під час динамічних навантажень достовірних змін середньої амплітуди ІЕМГ не виявлено, хоча спостерігається тенденція до збільшення цього показника (за результатами регресійного аналізу). Значно вищу електричну активність м'язів під час максимальних статичних скорочень (рис. 3 а) порівняно з динамічними (рис 3 б) можна пояснити близькою до максимальної активацією м'язових волокон усіх типів під час статичних зусиль. Зменшення амплітуди електричної активності при цьому може вказувати на деактивацію великих рухових одиниць унаслідок розвитку втоми. За менших початкових зусиль під час динамічних скорочень (рис. 3 б) тенденцію до підвищення амплітуди ІЕМГ можна пояснити рекрутуванням додаткових волокон для підтримання необхідних швидко-силових характеристик руху.

Частотні характеристики ІЕМГ під час серії максимальних статичних скорочень значно змінювалися (рис. 4 а). Середня частота ІЕМГ знижувалася до 73,4% від початкового рівня ($p < 0,05$). Вплив фактора втоми на середню частоту ІЕМГ підтверджується даними дисперсійного аналізу ($F = 2,84$, $F_{\text{крит}} = 1,33$). Під час динамічних скорочень не виявлено статистично значущих змін середньої частоти ІЕМГ. Регресійний аналіз вказує на тенденцію до початкового підвищення цього показника з подальшим зниженням до початкового рівня. Отримані результати можна інтерпретувати як аргумент на користь значної ролі центральних механізмів зменшення частоти стимуляційного впливу мотонейронів у процесі розвитку втоми м'язів спортсменів-спринтерів під час максимальних статичних скорочень. За слабших динамічних скорочень цей механізм проявляється меншою мірою і лише після двох хвилин роботи.

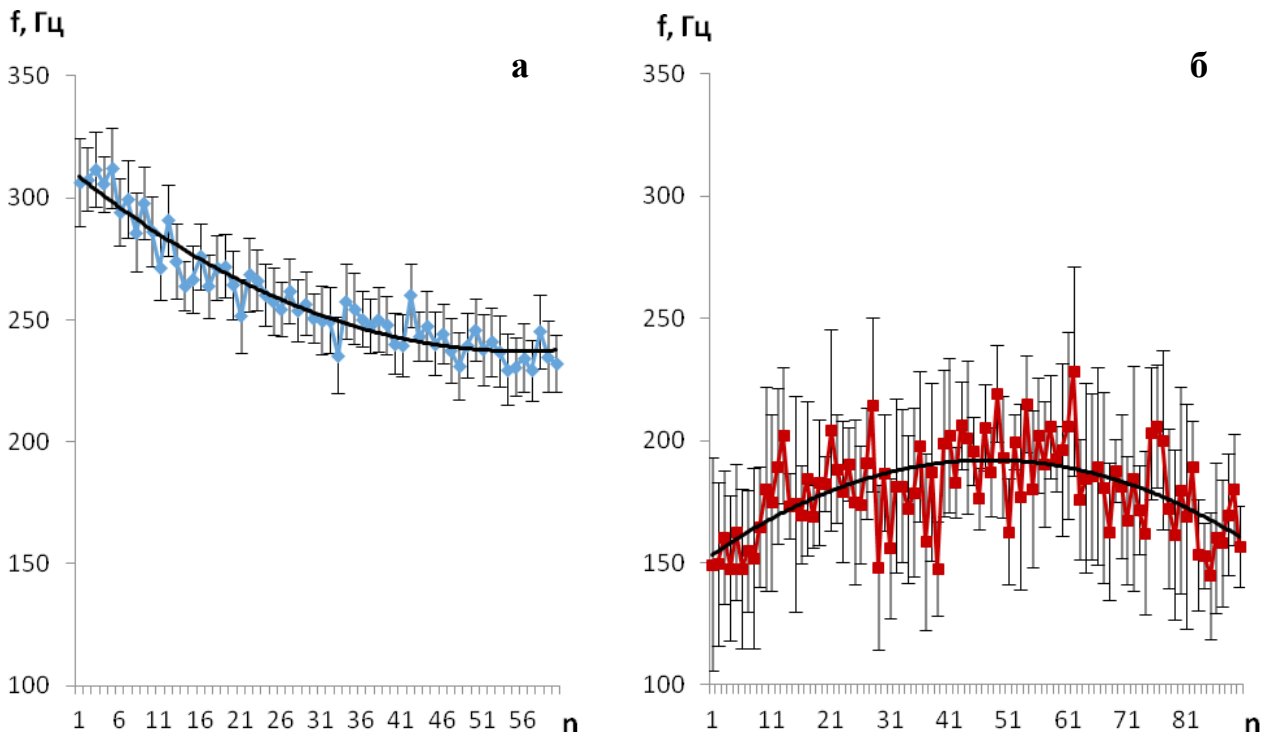


Рис. 4. Зміни середньої частоти (f , Гц) ІЕМГ скелетних м'язів передпліччя спринтерів під час статичних (а) та динамічних (б) навантажень: усереднене значення та лінія часового тренду; n – порядковий номер скорочення

Аналіз показників ІЕМГ виявив значно більші зміни електричної активності м'язів у процесі розвитку втоми під час максимальних статичних зусиль. Ці результати узгоджуються з виявленим іншими авторами поступовим зменшенням амплітуди ІЕМГ при довільних максимальних скороченнях та підвищенням амплітуди ІЕМГ при субмаксимальних скороченнях [20]. Зниження амплітуди ІЕМГ пояснюють кількома причинами: деактивацією

РО, зменшенням частоти електричної активності РО та, можливо, зменшенням амплітуди потенціалів дії РО [20]. Підвищення ІЕМГ можна пояснити змінами форми потенціалу дії, зменшенням швидкості проведення збудження, рекрутуванням додаткових РО та синхронізацією активності РО [20]. Підвищення електричної активності (RMS) та зниження медіанної частоти ІЕМГ під час статичних зусиль спостерігали також Р. Себіт [24], Дж. Чанг [12], Д. Гейтс [15], Е. Ямада [22]. На відміну від цих спостережень, кілька інших авторів виявили зниження амплітуди ІЕМГ під час довільних максимальних скорочень, що призводять до розвитку втоми [10, 19]. Така неузгодженість зумовлена, очевидно, неоднаковими умовами виконання досліджень та складною взаємодією багатьох факторів, які впливають на частотні та амплітудні характеристики ІЕМГ.

Можна припустити, що виявлене нами зниження середньої амплітуди та частоти ІЕМГ може вказувати на значну роль центральних механізмів розвитку втоми, пов'язаних із ослабленням активності окремих мотонейронних пулів та деактивацією окремих РО. Вірогідно, що субмаксимальні динамічні навантаження більшою мірою викликають зміни функціонування периферичних механізмів, що забезпечують електрохімічне спряження, генерацію м'язової сили чи ресинтез АТФ. Вони меншою мірою відображаються на активності центральних структур, що координують активність м'язових волокон, та, відповідно, амплітудно-частотних характеристиках ІЕМГ.

Висновки:

1. Явища втоми, викликані серією максимальних статичних зусиль, супроводжувалися зниженням на 37,2 % сили скорочень з одночасним зниженням на 21,0 % середньої амплітуди ІЕМГ та зниженням середньої частоти ІЕМГ на 26,6 %.

2. Під час виконання субмаксимальних динамічних зусиль втома супроводжується зниженням амплітуди (на 43,2 %), швидкості скорочень (на 20,9 %) та розслаблення (на 34,8 %) м'язів. Проте ці зміни не викликали статистично значущих відхилень в амплітудних та частотних показниках ІЕМГ.

3. Можна припустити більшу роль центральних механізмів, пов'язаних із деактивацією великих рухових одиниць у розвитку втоми м'язів-згиначів пальців кисті під час виконання спортсменами-спринтерами максимальних статичних навантажень. Під час субмаксимальних динамічних навантажень більшу роль, вірогідно, відіграють периферичні механізми.

Перспективи подальших пошуків. Перспективним є порівняння отриманих даних з аналогічними, отриманими під час досліджень у групі спортсменів-стаєрів. Виявлені відмінності можуть стати основою для створення нових неінвазивних методик оцінювання функціонального стану м'язів, визначення композиції м'язових волокон та спортивного добору.

Список літератури

1. Бююль А. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / пер. с нем. А. Бююль, П. Цёфель. – Санкт-Петербург : ДиаСофтЮП, 2005. – 608 с.

2. Роль морфологічних чинників у визначенні сили ізометричного скорочення м'язів-згиначів пальців кисті [Електронний ресурс] / Л. Вовканич, М. Гриньків, Т. Куцериб, С. Крась // Спортивна наука України. – 2015. – № 3 (67). – С. 3–8. – Режим доступу: <http://sportscience.ldufk.edu.ua/index.php/snu/article/view/327/316>

3. Вовканич Л. С. Використання програмно-апаратного комплексу на базі ергографа Моссо для характеристики функціональних особливостей нервово-м'язового апарату спортсменів / Л. С. Вовканич, В. М. Соколовський, Е. Ф. Кулітка // Вісник Чернігів. нац. пед. ун-ту. – Чернігів, 2015. – Вип. 129, т. 2. – С. 30–34.

4. Методы оценки композиции мышечных волокон в скелетных мышцах человека / А. Самсонова, И. Барникова, А. Борисевич, А. Вахнин // Труды кафедры биомеханики НГУ им. П. Ф. Лесгафта. – Санкт-Петербург, 2012. – Вып. 6. – С. 18–27.

5. Николаев С. Атлас по электромиографии / С. Николаев – Иваново : ИПК ПресСто, 2010. – 468 с.
6. Bartuzi P. Assessment of muscle load and fatigue with the usage of frequency and time-frequency analysis of the EMG signal / Paweł Bartuzi, Danuta Roman-Liu // *Acta of Bioengineering and Biomechanics*. – 2014. – Vol. 16, N 2. – P. 31–39.
7. Bigland-Ritchie B. EMG and fatigue of human voluntary and stimulated contractions / Bigland-Ritchie B. // *Human muscle fatigue: physiological mechanisms*. – 1981. – P. 130–156.
8. Contractile speed and EMG changes during fatigue of sustained maximal voluntary contractions / Bigland-Ritchie, B., Johansson, R., Lippold, O. C., Woods, J. J. // *Journal of neurophysiology*. – 1983. – Vol. 50. – P. 313–324.
9. Estimating the EMG response exclusively to fatigue during sustained static maximum voluntary contraction / Jing Chang, Damien Chablat, Fouad Bennis, Liang Ma // *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors [series Advances in Intelligent Systems and Computing]*. – 2016. – Vol. 489. – P. 29–39.
10. Fink W.J. Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part II. Muscle fiber composition and enzyme activities / Fink W.J., Costill D.L., Pollock M.L. // *Ann N Y Acad Sci*. – 1977. – Vol. 301. – P. 323–327.
11. Frequency and conduction velocity analysis of the abductor pollicis brevis muscle during early fatigue / Barandun M., Von Tscherner V., Meuli-Simmen C. et al // *Electromyogr. Kinesiol.* – 2009. – Vol. 19. – N. 1. – P. 65–74.
12. Gates D. H. The effects of neuromuscular fatigue on task performance during repetitive goal-directed movements / Gates D. H., Dingwell J. B. // *Exp. Brain Res.* – 2008. – Vol. 187, N 4. – P. 573–585.
13. Gollnick P.D. The muscle fiber composition of skeletal muscle as a predictor of athletic success. An overview / Gollnick P.D., Matoba H. // *The American Journal of Sports Medicine*. – 1984. – Vol. 12 (3). – P. 212–217.
14. Harridge S.D.R. Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans / S.D.R. Harridge, R. Bottinelli, M. Canepari // *Pflügers Archiv* September. – 1996. – Vol. 432, is. 5. – P. 913–920.
15. Ivy J.L. Isokinetic contractile properties of the quadriceps with relation to fiber type / Ivy J.L., Withers R. T., Brose G. [et al.] // *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. – 1981. – Vol. 47, is. 3. – P. 247–255.
16. Kent-Braun J.A. Central and peripheral contributions to muscle fatigue in humans during sustained maximal effort / J.A. Kent-Braun // *European journal of applied physiology and occupational physiology*. – 1999. – Vol. 80. – P. 57–63.
17. Nigg B. *Biomechanics and Biology of Movement* / Benno Nigg, Brian MacIntosh, Joachim Mester. – Human Kinetics, 2000–468 p.
18. Prince F.P. Human muscle fiber types in power lifters, distance runners and untrained subjects / Prince F.P., Hikida R. S., Hagerman F.C. // *Pflügers Archiv*. – 1976. – Vol. 363, is. 1. – P. 19–26.
19. Relationship between muscle oxygenation and electromyography activity during sustained isometric contraction / Yamada E., Kusaka T., Arima N. et al // *Clin. Physiol. Funct. Imag.* – 2008. – Vol. 28, N. 4. – P. 216–221.
20. Schiaffino S. Fiber Types In Mammalian Skeletal Muscles / Schiaffino S, Reggiani C. // *Physiol Rev.* – 2011. – Vol. 91. – P. 1447–1531.
21. Seibt R. A new method for quantification of muscular force and fatigue by using surface electromyographical measurements [Electronic resource] / R. Seibt, J. Schneider – *BioMedical Engineering OnLine*, 2012. – Access mode: http://www.sieso-ergo.eu/uploads/File/A_new_method_for_quantification_of_muscular_force_and_fatigue_by_using_surface_electromyographical_measurements_print.pdf
22. Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes / Costill D.L., Daniels J., Evans W. [et al.] // *J Appl Physiol.* – 1976. – Vol. 40 (2). – P. 49–54.

23. Stephens J. A. Fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man / J. A. Stephens, A. Taylor // The Journal of physiology. – 1972. – P. 220.
24. Viitasalo J. H. T. Signal characteristics of EMG during fatigue / Jukka H. T. Viitasalo, Paavo V. Komi // European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. – 1977, V. 37. – Is. 2. – P. 111–121.
25. Weiss L. Easy EMG: a guide to performing nerve conduction studies and electromyography / L. Weiss, K. Silver – Butterworth-Heinemann an Imprint of Elsevier, 2004. – 271 p.
26. Zierath J. R. Skeletal Muscle Fiber Type: Influence on Contractile and Metabolic Properties / Zierath J. R., Hawley J. A. // PLoS Biology – 2004. – Vol. 2, is. 10. – P. 1523–1527.

Стаття надійшла до редколегії 6.10.2016

Прийнята до друку 18.10.2016

Підписана до друку 31.10.2016