

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Чорноморський національний університет імені Петра Могили  
Факультет фізичного виховання і спорту  
Кафедра медико-біологічних основ спорту та фізичної реабілітації

Семенова Ірина Леонідівна

**ХАРАКТЕР ДОВГОСТРОКОВИХ АДАПТАЦІЙНИХ ЗМІНИ  
СКОРОЧУВАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ М'ЯЗОВИХ ВОЛОКОН В УМОВАХ  
СИЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЕКСЦЕНТРИЧНОГО РЕЖИМУ ТРЕНУВАНЬ**

Спеціальність 091 – Біологія

Автореферат дипломної роботи  
на здобуття кваліфікації магістра

Миколаїв – 2022

Робота виконана на кафедрі медико-біологічних основ спорту та фізичної реабілітації, факультету фізичного виховання і спорту, Чорноморського національного університету імені Петра Могили, Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник**

д.б.н., професор

Чернозуб А.А., Чорноморський національний університет імені Петра Могили

**Рецензент:**

к.б.н. доцент кафедри біології людини та імунології

Шкуропат Анастасія Вікторівна, Херсонський державний університет

Захист відбудеться \_\_ лютого 2022 р. о \_\_.00 год. на засіданні екзаменаційної комісії у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили (54003, м. Миколаїв, вулиця 68 Десантників, 10)

З дипломною роботою можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили (54003, м. Миколаїв, вулиця 68 Десантників, 10)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність.** М'язова сила одна із найважливіших рухових якостей спортсмена, що визначає результат у багатьох видах спорту. У зв'язку з цим вивчення функціональних механізмів розвитку сили при використанні класичних методів тренування та пошуки нових нетрадиційних засобів для збільшення сили скелетних м'язів постійно привертають увагу дослідників. Максимальна довільна сила (МДС) є інтегральним показником скоротливості кістякової мускулатури.

Відомо, що широкий спектр центральних та периферичних факторів визначає силу м'язового скорочення. Центральні-нервові механізми управління м'язовою системою включають фактори внутрішньом'язової (частота розрядів рухової одиниці (РО), число активних РО, синхронізація роботи РО) та міжм'язової координації (мобілізація агоністів, гальмування антагоністів). Периферична складова обумовлена м'язовою композицією, тобто співвідношенням швидких і повільних м'язових волокон, кількістю м'язових волокон і площею поперечного перерізу, архітектурою м'язів (довжиною і ступенем нахилу м'язових волокон до осі руху).

Варто зазначити, що динаміка змін функціонального стану кожної з цих складових у результаті силового тренування демонструє суттєву гетерохронію. Так, накопичення скорочувальних білків як фактора прояву сили відбувається повільніше, ніж насичення нервового фактора. Це пов'язано з тим, що морфофункціональні зміни в нервовій системі, що виражаються у зміні функціонального стану нейронів спинного мозку, моторної кори та підкіркових ядер, вимагають менше часу для адаптивної перебудови. Спортсмени високої кваліфікації відрізняються підвищеною збудливістю нервово-м'язового апарату та стабільністю біомеханічних характеристик руху, які слабко змінюються під час тренувальної діяльності. Виходячи з даних положень нервово-м'язової фізіології, збільшення розміру м'язів, що тренуються, зазвичай розглядається, як основна довгострокова адаптація.

Таким чином, результати теоретичного аналізу дозволяють зробити висновок про те, що найбільш суттєвим фактором підвищення спортивних результатів у силових та швидко-силових видах спорту може бути гіпертрофія м'язових волокон.

І оскільки швидкі волокна мають значно більшу питому силу, порівняно з повільними волокнами, виборча гіпертрофія швидких м'язових волокон стає очевидним і найважливішим завданням навчально-тренувального процесу спортсмена.

Накопичені багатьма дослідниками факти свідчать, що інтенсивність м'язових скорочень є ключовою детермінантою зростання м'язової тканини, як зовнішній вираз пристосувальних перебудов організму до силових вправ. Тільки оптимальна сила м'язового скорочення може діяти як достатній подразник. Таким чином, поступове наростання сили подразнення є імперативом м'язової гіпертрофії. Оскільки будь-який біологічний подразник має «межу сили» по досягненню якого м'язове зростання припиняється, то вивчення можливих шляхів інтенсифікації тренування та безперервний пошук таких режимів роботи рухового апарату, які б забезпечили максимальну ефективність анаболічних процесів в умовах систематичних тренувань, є необхідними умовами підвищення якості навчально- тренувального процесу та досягнення вищих темпів зростання спортивно-технічної майстерності спортсменів. Поза всяким сумнівом, розробка науково обґрунтованого змісту тренувань і методів удосконалення силових здібностей атлетів неможлива без вивчення фізіологічних процесів, що у нервово-м'язовому апараті під впливом різних режимів м'язових скорочень.

**Мета дослідження** – експериментально вивчити характер скорочувальної активності м'язових волокон при ексцентричних скороченнях різної інтенсивності та специфіку довгострокової адаптації м'язів за умов застосування акцентованих ексцентричних навантажень.

**Об'єкт дослідження.** Специфіка скорочувальної активності м'язових волокон та довгострокова адаптація м'язів.

**Предмет дослідження.** Паттерн електричної активності скелетних м'язів та довгострокові адаптивні зміни м'язів під впливом акцентованих ексцентричних навантажень.

**Гіпотеза дослідження.** Ми припускаємо, що характерною особливістю ексцентричних скорочень є вибіркоче рекрутування швидких РО та великий ступінь синхронізації імпульсної активності РВ як механізмів, що збільшують силу м'язового

скорочення. Ми також припускаємо, що застосування акцентованих ексцентричних навантажень у рамках тренувальної програми спортсменів призведе до більш вираженої гіпертрофії м'язів у порівнянні з традиційним силовим тренуванням, навіть за еквівалентного тренувального обсягу. Очікується, що це зростання забезпечуватиметься як збільшенням діаметра, так і довжини швидких м'язових волокон, на підставі ідеї про вибіркоче рекрутування швидких РО під час ексцентричних скорочень.

#### **Завдання дослідження:**

1. Дати характеристику активності мотонейронного пулу на підставі лінійних параметрів інтерференційної електроміограми (іЕМГ) для непрямой перевірки гіпотези про вибіркоче рекрутування швидких РО в ексцентричному режимі м'язового скорочення.

2. На основі нелінійних параметрів іЕМГ порівняти ступінь синхронізації імпульсної активності РО в ексцентричному та концентричному режимах м'язового скорочення.

3. Зіставити довгостроковий ефект впливу акцентованого ексцентричного тренування з традиційним силовим тренуванням в умовах рівного тренувального обсягу на гіпертрофію м'язів спортсменів, що оцінюється за змінами морфологічних та архітектурних параметрів м'яза.

4. Оцінити характер взаємозв'язку морфологічних та архітектурних змін м'яза та їх відносний внесок у м'язову гіпертрофію.

**Наукова новизна.** Висловлено, що спирається на експериментальні факти, припущення про специфічне для ексцентричного типу м'язових скорочень патерне активності РО, а саме, вибіркоче рекрутування м'язових волокон, що швидко скорочуються, на всіх досліджених рівнях м'язового зусилля, що може мати велике значення для підвищення спортивних результатів, внаслідок їх виборчої гіпертрофії.

Вперше було застосовано нелінійні параметри іЕМГ для непрямой оцінки синхронної активності РО м'язів в ексцентричному та концентричному режимах м'язового скорочення. Зокрема, нами встановлено, що ступінь синхронізації був трохи вищим під час ексцентричних скорочень.

Виявлено, що зі збільшенням обтяження ступінь синхронізації знижується для обох режимів м'язових скорочень.

Вперше комплексно проведено архітектурний та морфологічний аналіз довготривалої адаптації м'язової системи тренуваних спортсменів у відповідь на застосування акцентованих ексцентричних навантажень.

Доведено, що застосування методу акцентованого ексцентричного навантаження призводить до значно більшого збільшення показників гіпертрофії скелетних м'язів у порівнянні з традиційним високоінтенсивним силовим тренуванням. Найбільший приріст анатомічної площі поперечного перерізу (ACSA, anatomical cross sectional area), обсягу м'язу, кута перистості та фізіологічної площі поперечного перерізу (PCSA, physiological cross sectional area) були отримані у групі, що застосовувала акцентоване ексцентричне навантаження.

Встановлено, що збільшення архітектурних параметрів м'язу (кут перистості та PCSA) відбувається швидше, ніж морфологічних (ACSA та обсяг м'язу), вказуючи на те, що кут перистості може бути валідним та нетрудомістким маркером для оцінки ступеня гіпертрофії м'язів.

**Теоретична значущість роботи.** Результати цього дослідження дозволяють значно розширити сучасні уявлення про особливості активності нервово-м'язового апарату за різних режимів скорочення скелетних м'язів, а також специфічності адаптаційних реакцій м'язової системи людини під впливом акцентованих ексцентричних навантажень. Крім того, результати проведених досліджень дозволять більш раціонально підходити до вибору тренувальних впливів з метою гіпертрофії м'язової тканини та покращення силових показників спортсмена.

**Практична значущість роботи.** Запропоновані лінійні та нелінійні методи інтерпретації часових рядів іЕМГ можуть надати індивідуальну інформацію про патерну активності РО під час різних спортивних рухів. Зокрема, дані методи можуть використовуватися для оцінки характеристик активності РО в різних умовах напруженої м'язової діяльності, що відрізняються за режимом, інтенсивністю, швидкістю скорочення, в умовах стомлення нервово-м'язового апарату, для вивчення

механізмів регуляції та побудови рухів зі складно координаційною структурою та багато іншого.

Дані про динамічні лінійні та нелінійні властивості іЕМГ у процесі реалізації концентричних та ексцентричних м'язових скорочень можна застосовувати при розробці програм спрямованого впливу тренувальних навантажень на м'язову систему спортсменів. Так, дані про вибіркоче рекрутування швидких волокон можуть мати велике значення при виборі методів силового тренування.

Доведено та науково обґрунтовано ефективність застосування акцентованих ексцентричних навантажень з метою гіпертрофії м'язової тканини, що розширює методологію спортивної практики шляхом розробки методичних прийомів включення ексцентричного тренінгу до комплексу вправ з обтяженнями для спортсменів силових видів спорту. Використані методи архітектурного аналізу можуть успішно застосовуватися вивчення адаптивних перебудов м'язової системи під впливом тренувань різної спрямованості. Зокрема, кут перистості може бути надійним показником ступеня гіпертрофії м'язів.

**Структура й обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (150). Загальний обсяг дипломної роботи складає 85 сторінок, вона містить 3 таблиці та 15 рисунків.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ**

У вступі розкрито актуальність теми магістерської роботи, наведено зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету та завдання, предмет та об'єкт, методи та інформаційну базу дослідження, представлено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, апробацію результатів дослідження, а також подано структуру роботи.

У першому розділі «**Огляд літературних джерел**» проведено теоретичний аналіз і узагальнення вітчизняної та зарубіжної науково-методичної літератури з проблеми наукового дослідження; розглянуто сучасні фізіологічні та молекулярні основи м'язової гіпертрофії, а також потенційні можливості ексцентричних навантажень.

У другому розділі «**Методи та організація дослідження**» обґрунтовано й описано методи дослідження, відповідно до мети і завдань роботи, використовується: аналіз науково-методичної літератури, реєстрація інтерференційної електроміограми, лінійні та нелінійні параметри інтерференційної електроміограми, інструментальні методи оцінки морфології та архітектури м'язів, морфологічні зміни м'язів, статистичний аналіз електроміографічних даних, статистичний аналіз силового тренувального дослідження.

У третьому розділі «**Результати дослідження та їх обговорення**» результати дослідження відмінностей в синхронізації рухових одиниць, що виявляються нелінійними методами, а зміна морфологічних та архітектурних параметрів м'язів залежно від силового протоколу.

Аналіз електроміограм є предметом електроміографічної семіотики, що визначає взаємозв'язок між конкретними характеристиками інтерференційної активності і відповідними фізіологічними явищами. Своєрідність рисунка іЕМГ проявляється у різних величинах середньої амплітуди і середньої частоти досліджуваних м'язів під час використання тієї чи іншої режиму м'язового скорочення. Дані параметри змінюються випадковим чином і залежать від кількості активних РО, участі різних типів РО, швидкості їхньої імпульсації та синхронізації. Порівняльний аналіз середньої частоти спектра потужності (MPF) та амплітуди (RMS) поверхневого ЕМГ сигналу м'яза під час ексцентричних та концентричних скорочень з різною інтенсивністю скорочення наведено у табл. 1. Зразки електроміограм скелетних м'язів при виконанні концентричних та ексцентричних скорочень трьох піддослідних наведено на рис. 1-2.

*Таблиця 1*

**Динаміка середньої частоти (MPF) та середньоквадратичного значення (RMS) електроміограми чотириголового м'яза стегна при збільшенні інтенсивності від 25% до 100% МДС**

%МДС	Середня частота (MPF), Гц		Середнє квадратичне (RMS), мкВ	
	Ексцентричний	Концентричний	Ексцентричний	Концентричний
100	75,9±5,1*	67,4±8,8	431,7±174,9	507,6±171,7
80	76,1±5,6*	66,9±9,1	328,5±135,6	408,2±146,2



50	72,9±6,3*	64,2±9,0	224,5±96,0*	307,3±113,0
25	68,6±7,5*	55,3±5,7	138,6±55,1*	235,0±93,2

*Примітка:* Значення представлені як середнє ± σ. \* –  $p < 0,05$

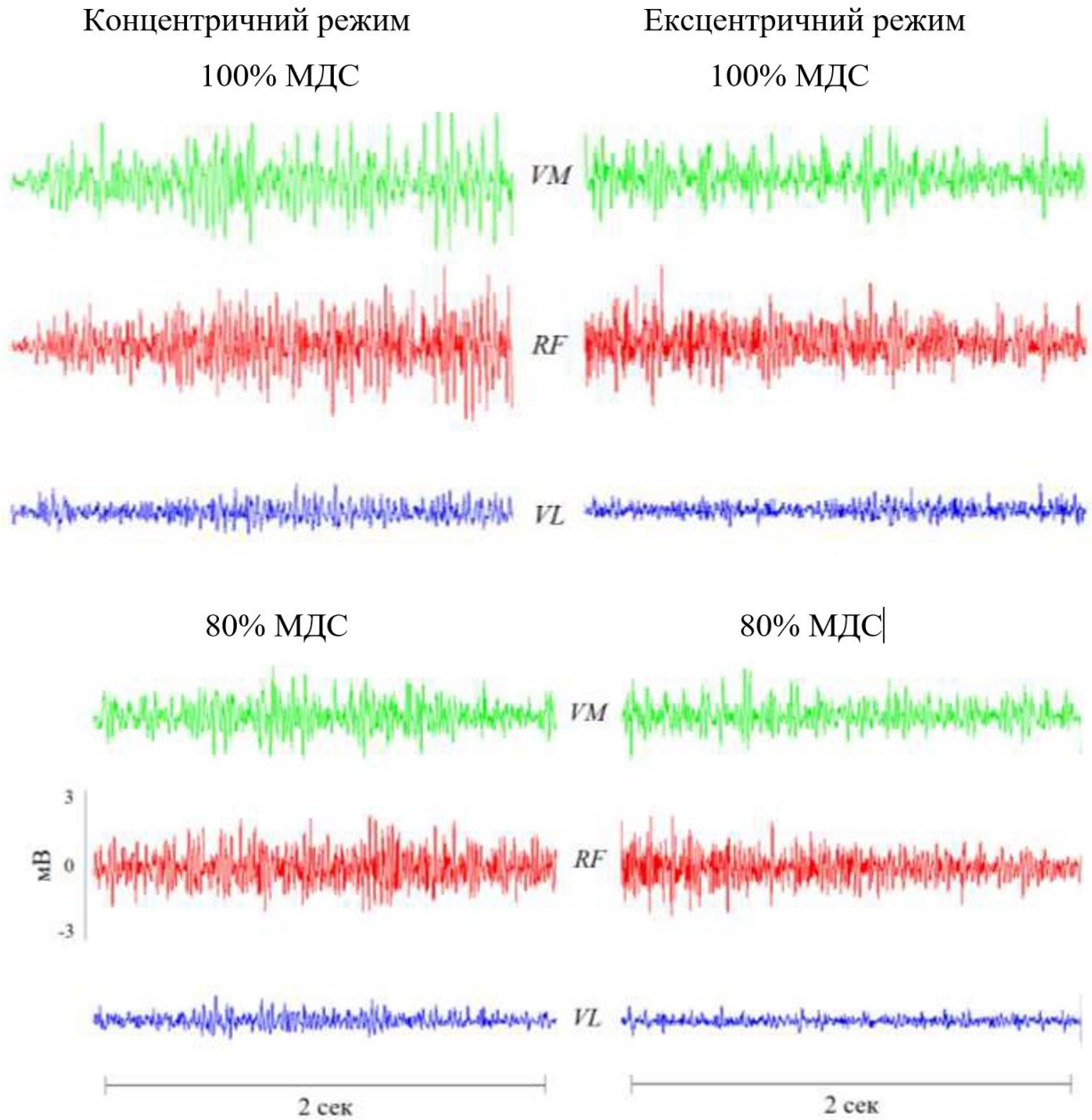


Рис. 1. Зразки електроміограм скелетних м'язів першого випробуваного при виконанні концентричних скорочень (ліворуч) та ексцентричних скорочень (праворуч).

*VM* – *Vastus medialis*, *RF* – *Rectus Femoris*, *VL* – *Vastus Lateralis*

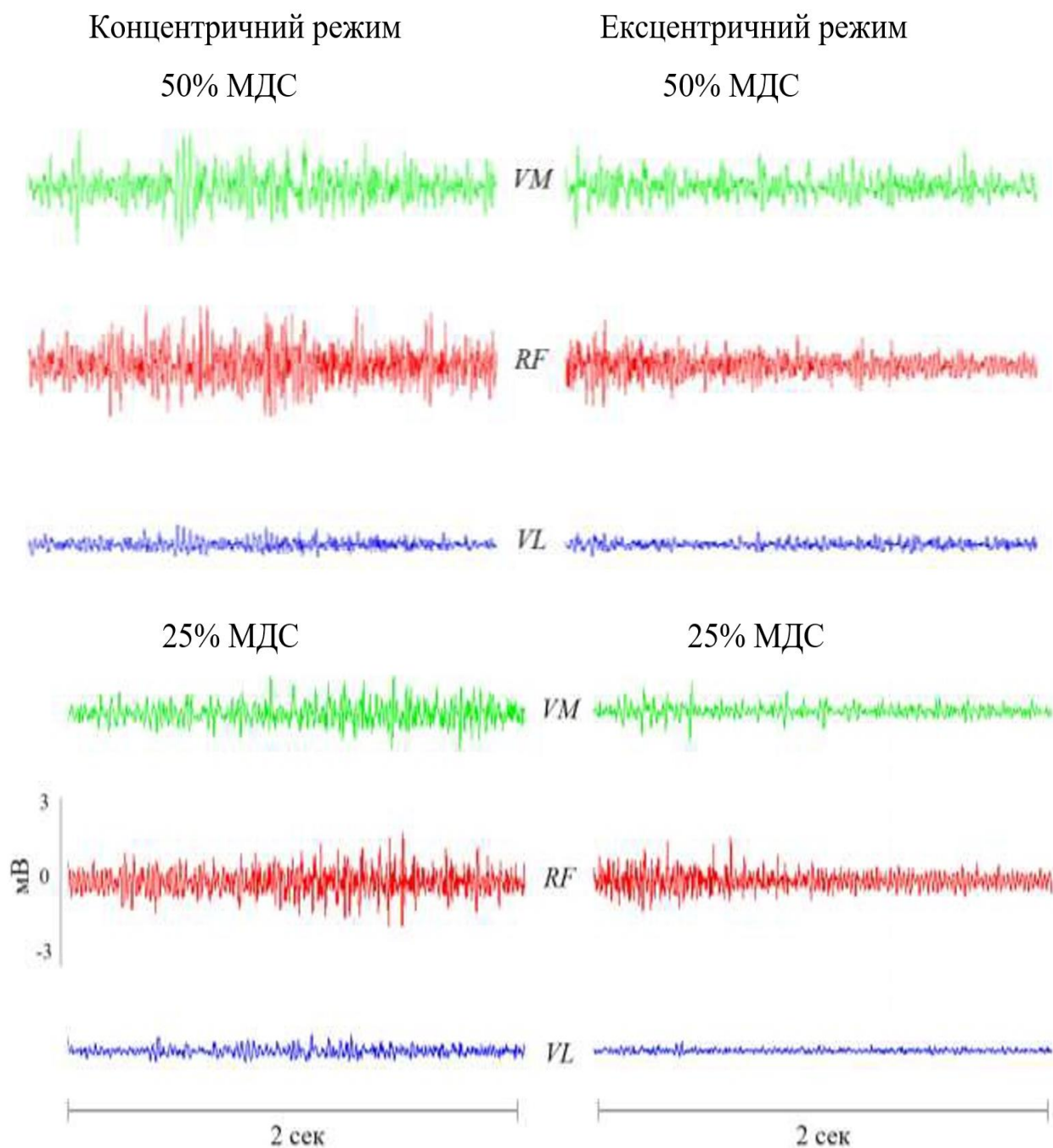


Рис. 2. Зразки електроміограм скелетних м'язів першого випробуваного при виконанні концентричних скорочень (ліворуч) та ексцентричних скорочень (праворуч).

*VM – Vastus Medialis, RF – Rectus Femoris, VL – Vastus Lateralis*

Тимчасова еволюція середньоквадратичної величини RMS як репрезентант амплітуди іЕМГ у часовій області є показником середньої потужності міографічного сигналу і відображає кількість і швидкість розрядів потенціалів дії всіх активних РО.

Для RMS був виявлений значний ефект «%МДС» ( $F=8,83$ ;  $p<0,05$ ;  $k=3$ ) та «режиму» ( $F=49,06$ ;  $p<0,05$ ;  $k=1$ ). Апостеріорний тест виявив статистично значущі відмінності між групами на інтенсивності 25% ( $p<0,05$ ) та 50% від МДС ( $p<0,05$ ).

Очевидно, що при скороченнях слабкої інтенсивності на тлі низького рівня супраспінальної синаптичної активності, першими в роботу включатимуться низькопорогові РО. При зростанні величини супраспінальної активності рекрутуватимуться мотонейрони з вищим порогом збудження, рухові одиниці яких виробляють більшу силу. Зростання сили м'язового скорочення залежить тільки від властивостей і кількості одночасно активних волокон, а й від частоти імпульсації кожного м'язового волокна. Отже, при наростанні сили довільного скорочення виявляється зростання числа нервово-м'язових РО, що беруть участь у скороченні, та приріст частоти імпульсів в окремих волокнах.

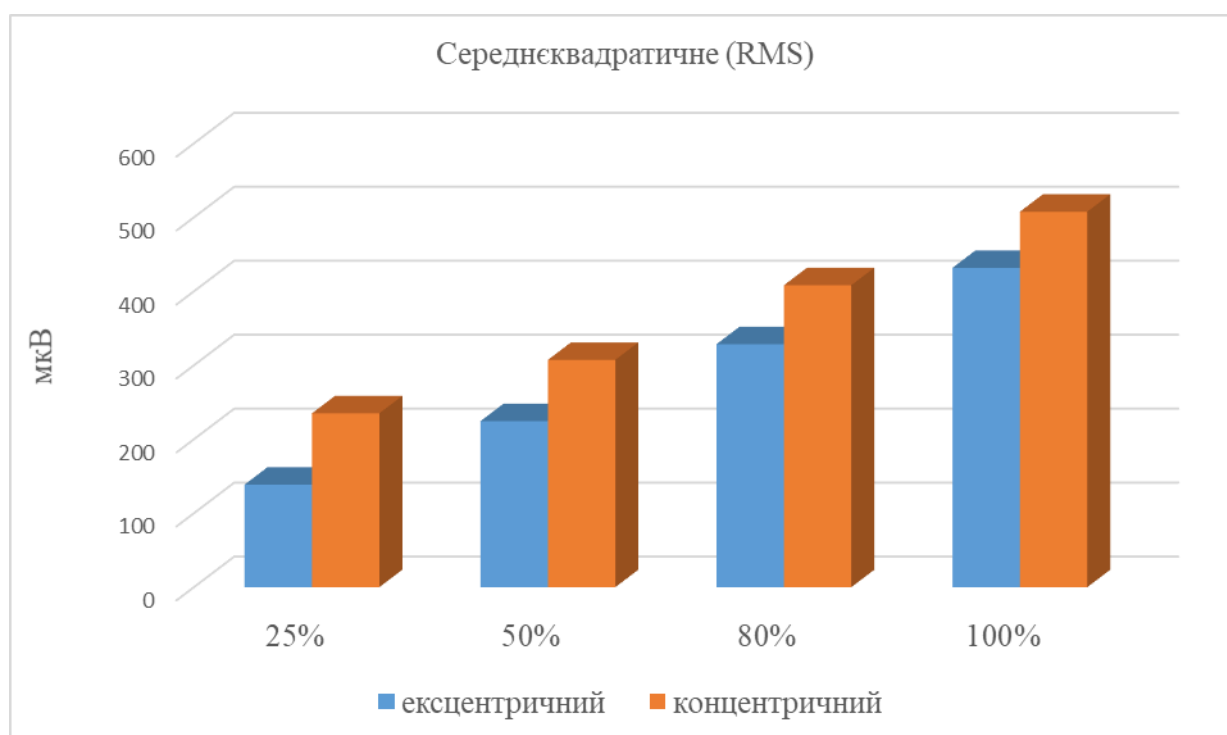


Рис. 3. Динаміка значень RMS електроміограми чотириголового м'яза стегна зі збільшенням інтенсивності від 25 до 100% МДС.

Як і очікувалося, середня амплітуда іЕМГ збільшувалася зі зростанням інтенсивності при кожному режимі скорочення від 138,6 та 235,0 мкВ при

навантаженні 25% МДС до 431,7 та 507,6 при максимальному навантаженні для ексцентричного та концентричного режиму відповідно, що свідчить про залучення дедалі більшої кількості волокон м'яза (рис. 4). При цьому значення амплітуди були нижче ексцентричному режимі скорочення у всьому діапазоні досліджуваних інтенсивностей.

При розгляді спектральних характеристик іЕМГ, тимчасова еволюція середньої частоти (MPF) спектру щільності потужності може надати інформацію, пов'язану зі швидкістю проведення нервових імпульсів та рекрутуванням РО. Товсті мієлінізовані аксони рухових нейронів і іннервовані ними м'язові волокна, що швидко скорочуються, проводять нервові імпульси з високою швидкістю, що чисельно виражається в вищій MPF. Для MPF був виявлений значний ефект %МДС ( $F=4$ ;  $p<0,05$ ;  $k=3$ ) і «режиму» ( $F=127,5$ ;  $p<0,05$ ;  $k=1$ ). MPF збільшувалася прямопропорційно зростанню довільного зусилля, свідчивши про планомірне рекрутування швидких волокон, досягнувши плато в діапазоні від 80% до 100% МДС (рис. 4).

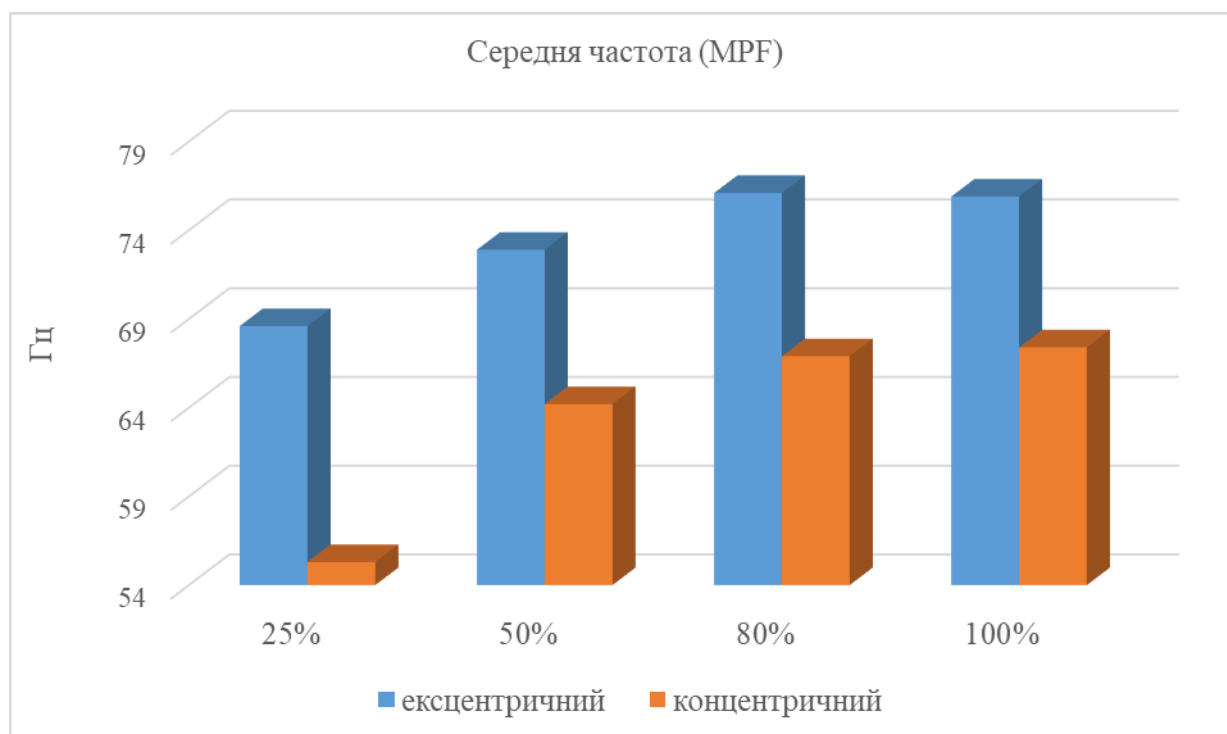


Рис. 4. Динаміка середньої частоти (MPF) електроміограми чотириголового м'яза стегна зі збільшенням інтенсивності від 25 до 100% МДС.

Так чи інакше, перевірка нульової гіпотези показує достовірно більші значення MPF електроміографічного сигналу при ексцентричному режимі порівняно з концентричним незалежно від застосовуваної інтенсивності (рис. 4). Post-hock тест виявив статистично значущі відмінності між групами всім досліджуваних інтенсивностей ( $p < 0,05$ ). Отримані дані повністю відповідають уявленням про більшу активність РО, що швидко скорочуються, навіть з урахуванням нижчих показників амплітуди сигналу.

Попередні дослідження, що вказують на те, що ексцентричний режим є вкрай ефективним методичним прийомом, в основі якого закладена здатність м'язів до значних за потужністю скорочень, надали деякий матеріал для його використання. Але на відміну від попередніх досліджень, у цій роботі застосовувався метод акцентованих ексцентричних навантажень, який дозволяє забезпечити як максимальне концентричне, так і довільне ексцентричне зусилля (для заданої кількості повторень), маючи на увазі приналежність обох фаз руху одному рівню нервово-м'язової активації.

Тут важливо брати до уваги ту обставину, що зміна анатомічного діаметра, що вимірюється в площині, перпендикулярної довгої осі м'яза, не може визнаватися репрезентативним і валідним для оцінки змін фізіологічного діаметра (PCSA), який розраховується, як величина площі поперечного перерізу волокна, перпендикулярна м'язових волокон, помножена на косинус кута перистості ( $\theta$ ). Так, не було виявлено достовірного зв'язку між ACSA цілого м'яза та змінами площі поперечного перерізу окремого м'язового волокна. Зв'язок між макроскопічними та мікроскопічними морфологічними показниками м'язів може не спостерігатися. Зважаючи на те, що саме PCSA відображає загальну кількість паралельно розташованих саркомерів у м'язі і, виходячи з цього, з можливим рівнем напруги, нарівні з розглядом індукованих тренуванням морфологічних адаптацій м'язової тканини, надзвичайно важливо брати до уваги архітектуру м'яза. Зведені дані виконаних вимірювань наведено у табл. 2.

## Абсолютні та відносні зміни параметрів, що вивчаються

Параметр	Група	До	Після	$\Delta\%$
ACSA QF, $\text{cm}^2$	КОН/ЕКС <sup>+</sup>	95,1 $\pm$ 14,8	106,0 $\pm$ 15,8*	11,6 $\pm$ 3,8%†
	КОН/ЕКС	91,5 $\pm$ 14,9	95,7 $\pm$ 15,4*	4,6 $\pm$ 1,3
	КОНТР	88,5 $\pm$ 12,2	88,5 $\pm$ 12,1	0,02 $\pm$ 1,0
Об'єм QF, $\text{cm}^3$	КОН/ЕКС <sup>+</sup>	2061 $\pm$ 326	2293 $\pm$ 353*	11,3 $\pm$ 3,9†
	КОН/ЕКС	1986 $\pm$ 397	2076 $\pm$ 413*	4,5 $\pm$ 1,2
	КОНТР	1938 $\pm$ 204	1940 $\pm$ 204	0,1 $\pm$ 1,1
ACSA VL, $\text{cm}^2$	КОН/ЕКС <sup>+</sup>	34,5 $\pm$ 7,7	38,4 $\pm$ 7,6*	12,2 $\pm$ 8,2†
	КОН/ЕКС	32,3 $\pm$ 6,7	34 $\pm$ 7,1*	5 $\pm$ 1,6
	КОНТР	31,6 $\pm$ 6,4	31,7 $\pm$ 6,5	0,1 $\pm$ 1,5
$\theta$ VL, град	КОН/ЕКС <sup>+</sup>	19,9 $\pm$ 3,4°	24,8 $\pm$ 3,6°*	25,5 $\pm$ 9,6°†
	КОН/ЕКС	20,1 $\pm$ 2,6°	21,7 $\pm$ 2,7°*	7,8 $\pm$ 0,9°
	КОНТР	17,9 $\pm$ 1,7°	17,7 $\pm$ 1,7°	-1 $\pm$ 1,8°
PCSA VL, $\text{cm}^2$	КОН/ЕКС <sup>+</sup>	124,2 $\pm$ 19,8	142,9 $\pm$ 23,7*	15,2 $\pm$ 7,9†
	КОН/ЕКС	122,8 $\pm$ 32,7	130 $\pm$ 33,2	6,1 $\pm$ 6,2
	КОНТР	121 $\pm$ 28,4	121 $\pm$ 27,5	0,1 $\pm$ 1,8
FL VL, мм	КОН/ЕКС <sup>+</sup>	60,3 $\pm$ 0,7	60,4 $\pm$ 0,6	1,1 $\pm$ 2,1
	КОН/ЕКС	60,1 $\pm$ 1,7	60,2 $\pm$ 0,7	0,7 $\pm$ 4,1
	КОНТР	65,1 $\pm$ 0,6	65,1 $\pm$ 0,6	-0,1 $\pm$ 2,4

Примітка: Значення подано як середнє  $\pm$   $\sigma$ .

\* –  $p < 0,05$  - достовірність відмінностей між величинами до та після.

† –  $p < 0,05$  – достовірно відрізняється від КОН/ЕКС та КОНТР груп.

Анатомічна площа поперечного перерізу чотириголового м'яза (ACSA QF, quadriceps femoris), об'єм чотириголового м'яза (об'єм QF), анатомічна площа поперечного перерізу VL (ACSA VL, vastus lateralis), об'єм VL (об'єм VL), кут пористості VL ( $\theta$  VL), фізіологічна площа поперечного перерізу VL (PCSA VL) та довжина пучка VL (FL VL)

13-тижнева тренувальна програма призвела до достовірного приросту ACSA у центральній частині м'яза (рис. 5). Для зміни ACSA чотириголового м'яза було виявлено значний ефект «часу» ( $F=155,7$ ;  $p < 0,05$ ;  $k=1$ ) та взаємодії «група  $\times$  час» ( $F=62,9$ ;  $p < 0,05$ ; до =2). Post-hoc тест виявив статистично значуще збільшення у КОН/ЕКС<sup>+</sup> групі (11,6 $\pm$ 3,8%;  $p < 0,05$ ) та КОН/ЕКС групі (4,6 $\pm$ 1,3%;  $p < 0,05$ ), але не у групі КОНТР (0,02 $\pm$ 1,0%;  $p=0,38$ ). Т-тест показав, що відносні зміни протягом досліджуваного періоду були достовірно більшими для КОН/ЕКС<sup>+</sup> групи ( $p < 0,05$ ), ніж для КОН/ЕКС групи.

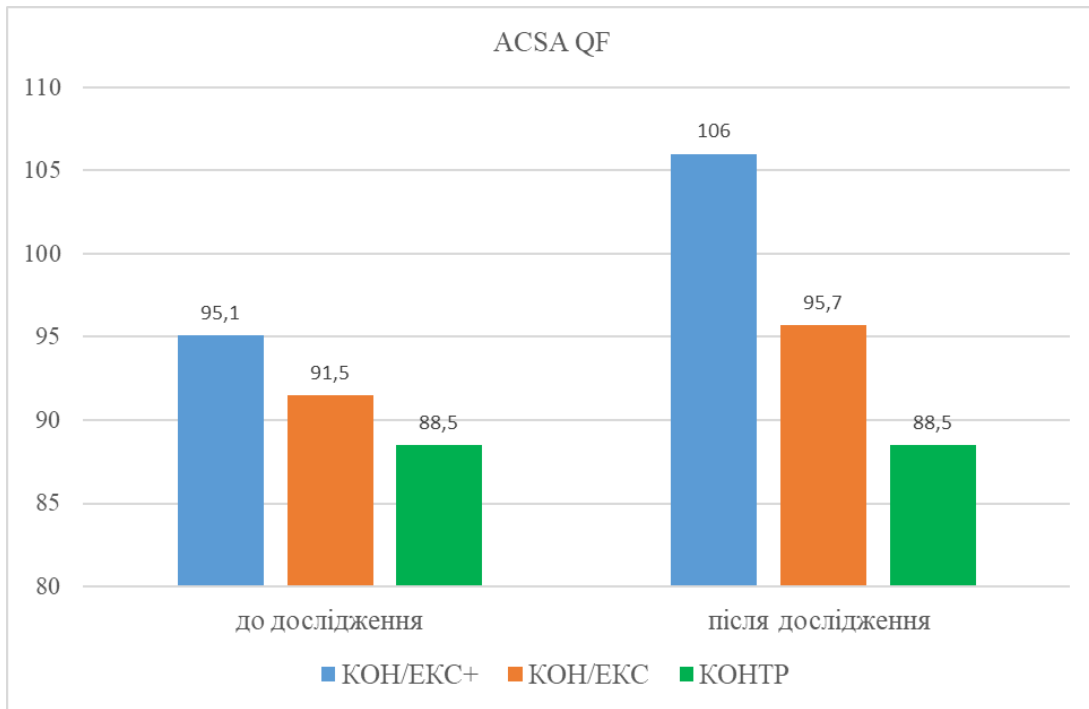


Рис. 5. Зміни анатомічної площі поперечного перерізу (ACSA, anatomical cross sectional area) чотириголового м'яза стегна (QF, quadriceps femoris).

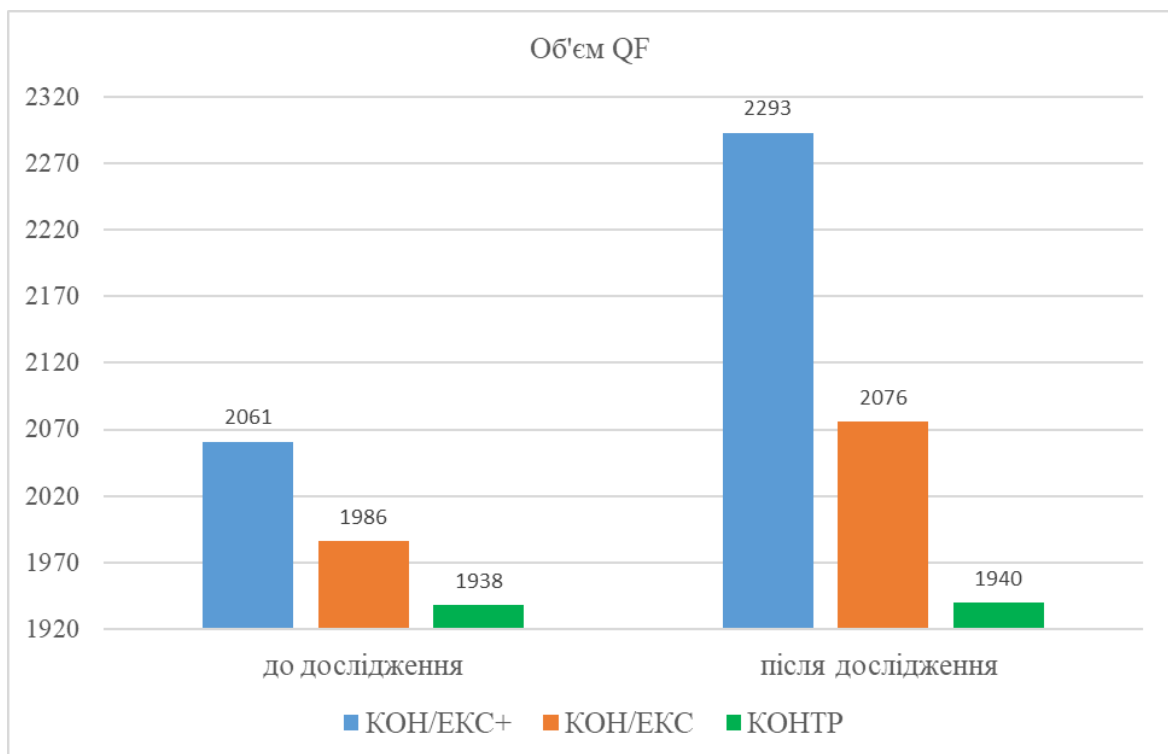


Рис. 6. Зміни обсягу чотириголового м'яза стегна (QF, quadriceps femoris).

Зміна обсягу чотириголового м'яза мала значний ефект «часу» ( $F=128,6$ ;  $p<0,05$ ,

$k=1$ ) та взаємодії «група  $\times$  час» ( $F=49,6$ ;  $p<0,05$ ). Post-hock тест виявив значне збільшення у КОН/ЕКС+ групі ( $11,3\pm 3,9\%$ ;  $p<0,05$ ) та КОН/ЕКС групі ( $4,5\pm 1,2\%$ ;  $p<0,05$ ), але не групі КОНТР ( $0,1\pm 1,1\%$ ;  $p=0,32$ ). Т-тест показав, що відносні зміни були достовірно більшими для КОН/ЕКС+ групи ( $p<0,05$ ), ніж для КОН/ЕКС групи (рис. 6).

## ВИСНОВКИ

1) Методами лінійного аналізу іЕМГ отримано непряме підтвердження виборчого рекрутування м'язових волокон, що швидко скорочуються, під час ексцентричних скорочень при всіх використовуваних відносних інтенсивностях, аж до максимальної.

2) Методами нелінійного аналізу часових рядів іЕМГ гіпотеза про більшу синхронізацію імпульсної активності ДЕ в ексцентричному режимі не підтвердилася. Відмінності були значні лише за інтенсивності 25% від МДС. При цьому нами виявлено обернено пропорційну залежність між інтенсивністю скорочення і ступенем синхронізації ДЕ для обох режимів м'язових скорочень

3) Відсоток детермінізму (%DET), що обчислюється в ході кількісного аналізу рекурентної діаграми, продемонстрував високу чутливість до зміни режиму та інтенсивності скорочення м'язів. Цю змінну можна використовуватиме виявлення синхронізації РО.

4) Акцентоване ексцентричне тренування виявилось більш ефективним в індукуванні гіпертрофії м'язів, ніж традиційне силове тренування після завершення 13-тижневої тренувальної програми, навіть при дотриманні еквівалентності тренувального обсягу.

5) Результати експерименту виявили, що найбільший приріст анатомічної площі поперечного перерізу (ACSA), обсягу м'яза (морфологічні параметри), кута перистості та фізіологічної площі поперечного перерізу (PCSA) (архітектурні параметри) були отримані в групі, що застосовувала акцентоване ексцентричне навантаження. Цей ефект може бути пов'язаний з використанням більш високої інтенсивності скорочення і, як наслідок, більшого механічного навантаження, яке відчували м'язи, що призвело до більш вираженого адаптивного відгуку.



6) Результати застосування методу акцентованих ексцентричних навантажень підтвердили гіпотезу про те, що рівень сили, що розвивається м'язом під час скорочення, може бути основною детермінантою гіпертрофії принаймні для тренуваних людей.

7) Показано, що збільшення кута перистості та PCSA випереджало збільшення ACSA та обсягу м'язу в обох порівнюваних експериментальних групах. Збільшення кута перистості, обумовлене просторовими обмеженнями в м'язі, що збільшується, може бути надійним показником ступеня гіпертрофії м'язів.

8) Довжина м'язових пучків не змінилася в жодній із порівнюваних груп. З цих даних можна дійти невтішного висновку, що довжина пучка залежить від режиму скорочення.

9) Охарактеризовані ефекти акцентованого ексцентричного навантаження у спортсменів силових видів спорту зумовлюють раціональність її використання з метою досягнення високих результатів у змагальній діяльності.

## АНОТАЦІЇ

**Семенова Ірина Леонідівна. Характер довгострокових адаптаційних зміни скорочувальної активності м'язових волокон в умовах силових навантажень ексцентричного режиму тренувань.** – На правах рукопису.

Дипломна робота на здобуття кваліфікації магістра за спеціальністю 091 «Біологія». – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, 2022.

Магістерська робота присвячена питанню дослідження характеру скорочувальної активності м'язових волокон при ексцентричних скороченнях різної інтенсивності та специфіку довгострокової адаптації м'язів за умов застосування акцентованих ексцентричних навантажень. Вперше було застосовано нелінійні параметри іЕМГ для непрямой оцінки синхронної активності РО м'язів в ексцентричному та концентричному режимах м'язового скорочення. Зокрема, нами встановлено, що ступінь синхронізації був трохи вищим під час ексцентричних скорочень. Виявлено, що зі збільшенням обтяження ступінь синхронізації знижується для обох режимів м'язових скорочень. Вперше комплексно проведено архітектурний

та морфологічний аналіз довготривалої адаптації м'язової системи тренуваних спортсменів у відповідь на застосування акцентованих ексцентричних навантажень. Доведено, що застосування методу акцентованого ексцентричного навантаження призводить до значно більшого збільшення показників гіпертрофії скелетних м'язів у порівнянні з традиційним високоінтенсивним силовим тренуванням. Найбільший приріст анатомічної площі поперечного перерізу (ACSA, anatomical cross sectional area), обсягу м'язу, кута перистості та фізіологічної площі поперечного перерізу (PCSA, physiological cross sectional area) були отримані у групі, що застосовувала акцентоване ексцентричне навантаження. Встановлено, що збільшення архітектурних параметрів м'яза (кут перистості та PCSA) відбувається швидше, ніж морфологічних (ACSA та обсяг м'язу), вказуючи на те, що кут перистості може бути валідним та нетрудомістким маркером для оцінки ступеня гіпертрофії м'язів.

**Ключові слова:** довгострокові адаптації, силові навантаження, акцентоване ексцентричне навантаження, м'язові волокна, рухові одиниці.