

## ВПЛИВ ЕЛЕКТРОСТИМУЛЯЦІЇ НА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ М'ЯЗІВ ПЕРЕДНЬОЇ СТІНКИ ЖИВОТА

**Т.П. Василик**

ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”  
м. Івано-Франківськ, Україна

**Ключові слова:**  
герніопластика,  
електростимуляція,  
дегенерація,  
регенерація, щури.

Буковинський медичний  
вісник. Т.23, № 3 (91).  
С. 16-22.

**DOI:**  
10.24061/2413-0737.  
XXIV.3.91.2019.56

**E-mail:**  
tarasvasylyk1967@gmail.  
com

**Мета роботи** — вивчити вплив різночастотної електростимуляції м'язів передньої черевної стінки після герніопластики.

**Матеріал і методи.** Дослідження проведені в 40 щурів із модельованою експериментальною вентральною грижею після пластики поліпропіленовою сіткою. Двадцять тварин після герніопластики отримували фізіотерапевтичний курс імпульсним електричним струмом за допомогою електронейроміостимулятора “Нейропульс” із різними частотними характеристиками (10, 100, 1000 Гц). Електростимуляцію проводили щодня по 2 хв протягом 10 днів. Курси стимуляції повторювали тричі з 20-денними перервами. Матеріал для морфологічного дослідження готували загальноприйнятим методом через 70 діб.

**Результати.** Встановлений ступінь деструктивних змін у м'язах передньої стінки живота в ділянці вентральної грижі знаходиться в прямій залежності від співвідношення м'язових і сполучнотканинних волокон. Застосування електростимуляційної терапії підсилює процеси репарації та істотно скорочує термін відновлення структурно-функціональних властивостей скелетних м'язів після моделювання вентральної грижі з подальшою пластикою поліпропіленовою сіткою. Найбільший терапевтичний ефект електростимуляції спостерігається при частоті електричного поля 10 Гц, а структурні характеристики свідчать про більшу вираженість ознак підвищення стійкості до втоми при меншому ступені функціональної напруги м'язових волокон.

**Висновок.** Морфологічні зміни у прямому м'язі живота, які спостерігаються після електростимуляції, складають структурну основу функціональної реабілітації м'язів передньої стінки живота при вентральних грижах.

**Ключевые слова:**  
герниопластика,  
електростимуляция,  
дегенерация,  
регенерация, крысы.

Буковинский медицин-  
ский вестник. Т.23, № 3  
(91). С. 16-22.

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ НА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ МЫШЦ ПЕРЕДНЕЙ СТЕНКИ ЖИВОТА

**Т.П. Василик**

**Цель работы** — изучить влияние разночастотной электростимуляции мышц передней брюшной стенки после герниопластики.

**Материал и методы.** Исследования проведены на 40 крысах с моделируемой экспериментальной вентральной грыжей после пластики полипропиленовой сеткой. Двадцать животных после герниопластики получали физиотерапевтический курс импульсным электрическим током с помощью электронейроміостимулятора “Нейропульс” с различными частотными характеристиками (10, 100, 1000 Гц). Электростимуляцию проводили ежедневно по 2 мин в течение 10 дней. Курсы стимуляции повторяли трижды с 20-дневными перерывами. Материал для морфологического исследования готовили общепринятым методом через 70 суток.

**Результаты.** Установленная степень деструктивных изменений в мышцах передней стенки живота в области вентральной грыжи находится в прямой зависимости от соотношения мышечных и соединительнотканых волокон. Применение электростимуляционной терапии усиливает про-

цессы репарации и существенно сокращает срок восстановления структурно-функциональных свойств скелетных мышц после моделирования вентральной грыжи с последующей пластикой полипропиленовой сеткой. Наибольший терапевтический эффект электростимуляции наблюдается при частоте электрического поля 10 Гц, а структурные характеристики свидетельствуют о большей выраженности признаков повышения устойчивости к усталости при меньшей степени функционального напряжения мышечных волокон.

**Вывод.** Морфологические изменения в прямой мышце живота, которые наблюдаются после электростимуляции, составляют структурную основу функциональной реабилитации мышц передней стенки живота при вентральных грыжах.

**Keywords:** hernioplasty, electrostimulation, degeneration, regeneration, rats.

*Bukovinian Medical Herald. V.23, № 3 (91). P. 16-22.*

### **INFLUENCE OF ELECTROSTIMULATION ON THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF THE MUSCLES OF THE FRONT ABDOMEN**

**T.P. Vasylyk**

**The purpose of the work** is to study the effect of different-frequency electrical stimulation of the muscles of the anterior abdominal wall after hernioplasty.

**Research methods.** Studies were performed on 40 rats with a simulated experimental ventral hernia after plasty with a polypropylene mesh. After hernioplasty, 20 animals received a physiotherapy course using pulsed electric current using the Neuro-pulse stimulator with various frequency characteristics (10, 100, 1000 Hz). Electrical stimulation was performed daily for 2 min for 10 days. The stimulation courses were repeated three times with 20-day breaks. The material for the morphological study was prepared by the conventional method after 70 days.

**Results.** The established degree of destructive changes in the muscles of the anterior abdominal wall in the area of the ventral hernia is directly dependent on the ratio of muscle and connective tissue fibers. The use of electrostimulation therapy enhances the repair processes and significantly reduces the recovery time of the structural and functional properties of skeletal muscles after modelling a ventral hernia with subsequent plastic surgery with a polypropylene mesh. The greatest therapeutic effect of electrical stimulation is observed at an electric field frequency of 10 Hz, and structural characteristics indicate a greater severity of signs of increased resistance to fatigue with a lower degree of functional tension of muscle fibers.

**Conclusion.** Morphological changes in the rectus abdominis muscle, which are observed after electrostimulation, form the structural basis of the functional rehabilitation of the muscles of the anterior abdominal wall in ventral hernias.

**Вступ.** Останніми роками значно зріс інтерес до питання про вплив електростимуляції на метаболізм і структурні властивості скелетних м'язів [1, 2]. При електростимуляції штучний електричний сигнал замінює природний нервовий імпульс і викликає скорочення м'язових волокон (МВ). При систематичній електростимуляції скорочення МВ збільшується в середньому на 20,0–30,0% [3]. Досягнутий приріст м'язової сили значною мірою зберігається навіть через 6–7 міс., знижуючись лише на 15,0% [4].

Цей метод успішно застосований у спортивній практиці як додатковий засіб фізичного тренування [3, 5], у медичній практиці для відновлення функції

м'язів при їх реіннервації та для збереження об'єму м'язової тканини при її денервації [6]. Відзначається, що після електростимуляції знижуються енерговитрати м'язів при утриманні заданої пози [7, 8], зростає рівень основного обміну на 24,0% [9].

За даними Е. V. Sereda et al. [10], при електростимуляції приріст м'язової маси відбувається швидше й інтенсивніше, ніж в умовах звичайного тренування. У науковій літературі накопичено багато відомостей про застосування імпульсних струмів для корекції функції м'язів, проте дані про ефективність впливу струмів з різною частотою проходження імпульсів багато в чому суперечливі. Одні автори [5, 11], в основному з огляду

## Оригінальні дослідження

на їх знеболювальний ефект, вважають оптимальними прямокутні імпульси з частотою проходження 10000 Гц, інші — наголошують на доцільність застосування пікових імпульсів частотою 30–200 Гц [3], треті — визначили позитивний ефект тільки при частоті 10 Гц [7]. Оскільки основним біомеханічним фактором при виникненні вентральних гриж живота є слабкість цих м'язів, тому існуюча розбіжність у поглядах на терапевтичний вплив електростимуляції м'язів визначила актуальність даного дослідження.

**Мета роботи** — вивчити вплив різночастотної електростимуляції м'язів передньої черевної стінки після герніопластики.

**Матеріал і методи.** Для оцінки ефективності застосованого методу обстежені дві групи щурів із модельованою експериментальною вентральною грижею. Контрольну групу (КГ) склали 20 щурів, яким проведено хірургічне лікування (герніопластика поліпропіленовою сіткою). До складу експериментальної групи (ЕГ) увійшли 20 тварин, які після оперативного втручання отримували фізіотерапевтичний курс імпульсним електричним струмом за допомогою електронейроміостимулятора "Нейропульс" (м. Враца, Болгарія). З метою виявлення найбільш ефективного режиму стимуляції у тварин ЕГ проводили порівняльний аналіз структурної перебудови прямого м'яза живота (ПМЖ) щурів в умовах впливу електричного стимулу з різними частотними характеристиками (10, 100, 1000 Гц). Електростимуляцію проводили щодня по 2 хв протягом 10 днів. Курси стимуляції повторювали тричі з 20-денними перервами.

Матеріал для морфологічного дослідження готували загальноприйнятим методом [12], який отримували після герніопластики через 70 діб. Шматочки прямого м'яза живота з боку, де була грижа, фіксували протягом

4 год у 2,4% розчині глютаральдегіду і дофіксували в 1,0% розчині чотириокису осмію на фосфатному буфері (рН 7,4) протягом 1 год при  $t$  4 С°, а потім після обезводнення в серії спиртів та ацетоні заливали сумішшю Епон-аралдит.

При проведенні статистичного аналізу отриманих результатів розрахунки виконували згідно з рекомендаціями Ю. Івченко [13] при використанні прикладних програм "Statistika 6".

**Результати дослідження та їх обговорення.** Вивчення напівтонких поперечно орієнтованих зрізів м'язів під світловим мікроскопом показало, що ПМЖ у щурів КГ із модельованою вентральною грижею характеризується великим вмістом сполучної тканини. Широкі пласти строми поділяють не тільки м'язові пучки, але й МВ всередині пучків. У більш ранніх роботах нами [14] та іншими авторами [15, 16] показано, що питома площа МВ у тварин КГ становить лише  $25,2 \pm 4,06\%$ , тоді як решту площі займає сполучна тканина. М'язові пучки утворені, зазвичай, невеликим (15–20) числом МВ, виявляються також і поодинокі волокна. Площа поперечного перерізу волокон варіює від 30 до 600 мкм<sup>2</sup>, причому більше 2/3 становлять волокна з площею перетину 100 мкм<sup>2</sup> (рис. 1).

У ПМЖ тварин КГ виявляється дуже мало гемокапілярів, а їх питома щільність становить у середньому тільки  $46,0 \pm 5,44$  на 1 мм<sup>2</sup> поперечного зрізу м'яза. За даними А. М. Мелькумянц [17], надлишковий натяг МВ, який спостерігається в ділянці дефекту при вентральних грижах [18, 19], призводить до порушення принципу оптимальності побудови судинної сітки, що пояснює зменшену кількість гемокапілярів.

Відносний об'єм мітохондрій становить  $8,6 \pm 0,46\%$ , їх поверхнева щільність —  $2,11 \pm 0,11$  мкм, а чисельна

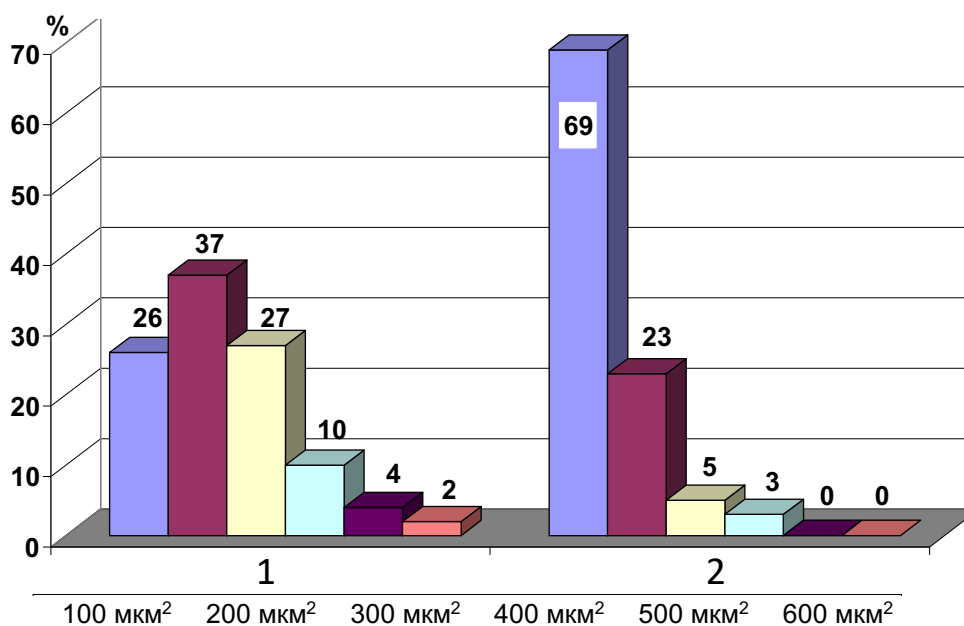


Рис. 1. Гістограми розподілу м'язових волокон за площею поперечного перерізу у прямому м'язі живота при вентральній грижі у тварин експериментальної (1) та контрольної (2) групи

щільність на площі зрізу 10 мкм<sup>2</sup> становить 6,4±0,42. Для більшості мітохондрій характерний матрикс підвищеної електронної щільності і чітко контуровані кристи. Разом з тим нерідко трапляються набряклі мітохондрії з ознаками деструкції внутрішньої мембрани, з вогнищево просвітленим матриксом. Порушення структури мітохондрій свідчить про порушення метаболізму у МВ [20, 21]. У периферичних частинах волокон, особливо часто в підсарколемальних і біляядерних зонах, спостерігаються дрібні автофагосоми і мієліноподібні тіла.

Глікоген у МВ у вигляді дрібних гранул нерівномірно розподілений між міофібрилами і займає невеликі зони під сарколемою. На площі поперечного перерізу волокон він виявляється на 43,1% менше, ніж в ЕГ.

Відносний об'єм саркоплазматичної сітки становить лише 1,6±0,04%. У порожнині каналів і цистерн, що утворюють тріади, виявляється середньої електронної щільності вміст, наявні також дрібні мієліноподібні структури.

У МВ трапляються осередки порушень міофібрилярного апарату: фрагментація Z-ліній, зміна або навіть зникнення саркомерної структури міофібрил, деструкція міофіламентів.

Ядра у МВ мають витягнуту форму і нерівні контури через глибокі інвагінації каріолеми. Гетерохроматин

локалізується не тільки під останньою, але й в глибині ядра у вигляді великих грудочок. Ядерця виявляються рідко, вони дрібні і щільні.

Сполучна тканина характеризується наявністю численних колагенових волокон, розташованих між МВ і в безпосередній близькості до їх базальних мембран. У перикапілярних зонах колагенові волокна нерідко організовуються в товсті пучки.

Морфометричний аналіз напівтонких зрізів ПМЖ у тварин ЕГ дозволив виявити збільшення середніх значень площі перетину МВ у пучках до 1818,5±87,33 мкм<sup>2</sup> при електростимуляції з частотою імпульсів 10 Гц, до 1408,21±36,95 мкм<sup>2</sup> — при частоті 100 Гц і до 1191,34±30,72 мкм<sup>2</sup> — при частоті 1000 Гц (при 894,77±22,03 мкм<sup>2</sup> у контролі).

Електронно-мікроскопічне дослідження показало, що у тварин ЕГ після низькочастотної (10 Гц) електростимуляції внутрішньоклітинні компоненти МВ зберігали в основному незмінну ультраструктуру, що, на думку С. Л. Попеля [22], є результатом реакції МВ на фізичне навантаження внаслідок електростимуляції. Кількісний аналіз виявив вірогідне збільшення на 30,2% відносного об'єму мітохондрій (табл.).

При цьому виявилось, що підвищення цього показника в центральних відділах МВ зумовлено зрос-

**Таблиця**  
**Морфометричні показники ультраструктурних компонентів прямого м'яза живота щурів контрольної та експериментальної групи (M±m, )**

Показник	Контрольна група, n=5	Експериментальна група, n=15		
		Режим стимуляції, Гц		
		10	100	1000
Відносний об'єм мітохондрій, %	6,6 ±0,52	8,6 ±0,78*	6,3 ±0,69	5,7 ±0,58
Кількість профілів мітохондрій на 10 мкм <sup>2</sup> зрізу	6,4 ±0,36	7,3 ±0,15	5,8 ±0,46	5,4 ±0,32*
Відносний об'єм саркоплазматичної сітки, %	1,8 ±0,04	4,6 ±0,02*	4,9 ±0,03*	3,8 ±0,02
Кількість гранул глікогену на 10 мкм <sup>2</sup> зрізу	164,1 ±7,83	381,2 ±29,66*	282,5 21,73*	332,4 ±30,42*

**Примітка:** \* – відмінність вірогідна порівняно з контролем (p < 0,05).

танням як чисельності, так і розмірів мітохондрій, тоді як на периферії — переважно за рахунок збільшення абсолютних розмірів цих органел. Безпосередньо біля мітохондрій розташовувалися великі ліпосоми помірної електронної щільності. На подібну структурну перебудову вказують інші автори [1, 9], які досліджували МВ різної локалізації.

З боку саркоплазматичної сітки також відзначалися

деякі зміни кількісних характеристик. Частіше, ніж у КГ виявлялися тубулярні елементи цієї системи на рівні А-дисків у саркомерах міофібрил, їх об'ємна частка зросла в 1,5 раза.

І хоча відносний об'єм термінальних систем збільшився не настільки значно, проте зростання середнього кількісного показника саркоплазматичної сітки було статистично вірогідним (p<0,05) порівняно з контролем



## Оригінальні дослідження

(див. табл.).

Привертала увагу велика кількість глікогену у МВ, особливо під сарколемою, у біляядерних ділянках, між міофібрилами на рівні І-зон саркомерів. Гранули глікогену нерідко виявлялися також в А-зонах і навіть між тонкими актиновими міофіламенами. Середнє число гранул на одиницю площі перетину МВ (10 мкм<sup>2</sup>) збільшилося порівняно з контролем більше, ніж у 2,0 раза (див. табл. 1). У більшості МВ були добре виражені біляядерні зони саркоплазми, що містили різної величини пухирці, сплюснені мембранні структури, цитогранули, окремі нитки міофіламентів.

Стимульований м'яз при частоті 10 Гц відрізняється більш високим рівнем капіляризації порівняно як із КГ, так і стимуляції з частотою 100 і 1000 Гц. Питома щільність капілярів на 1 мм<sup>2</sup> поперечного зрізу становить 240,0±10,42.

У тварин ЕГ після електростимуляції з частотою 100 Гц посилювалася гетерогенність ультраструктурних компонентів МВ. Це стосувалося ширини Z-ліній, ступеня вираженості саркоплазматичної сітки і вмісту глікогену. За даними морфометричного аналізу, відносний об'єм мітохондрій практично не відрізнявся від КГ (див. табл.). Дещо зменшеним виявилось число профілів цих органел на одиниці площі зрізу МВ. У мітохондріальних скупченнях як у центрі, так і на периферії МВ спостерігалися невеликі за розмірами ліпідні включення середньої електронної щільності.

У багатьох волокнах виявилися розширеними по-

на енергетичні запаси у МВ після електростимуляції з частотою 100 Гц.

Слід зазначити, що в ряді МВ у тій чи іншій мірі були виражені ознаки порушення міофібрилярного апарату: Z-лінія втрачала характерну для неї чіткість, порушувалися періодичність розташування і протяжність І- та А-зон саркомерів.

Розмір деструктуризованої ділянки міг варіювати від невеликого, у кілька саркомерів, до цілого волокна. У подібних ділянках мітохондрії, як правило, мали округлу форму, матрикс низької електронної щільності, розширені, а іноді й фрагментовані кристи. Нерідко у МВ траплялися великі автофагосоми, що містять фрагменти мембран і пластівцевоподібний матрикс.

Порівняно з КГ, у багатьох МВ тварин ЕГ виявилися розширеними елементи саркоплазматичної сітки, особливо її термінальні цистерни (див. рис. 2). У кількісному відношенні це виразилося у вірогідному збільшенні відносного об'єму цієї системи.

Вплив високочастотної (1000 Гц) електростимуляції призводило до зниження відносного об'єму мітохондрій і до зменшення числа їх профілів у площині зрізу МВ (див. табл.). Більшість мітохондрій мали матрикс помірної електронної щільності і злегка розширені кристи. Ліпідні включення траплялися рідше, ніж у нормі. Саркоплазматична сітка за своїми якісними та кількісними характеристиками практично не відрізнялася від КГ. Вміст глікогену виявився значно збільшеним. Чисельність його гранул на 10 мкм<sup>2</sup> перетину волокна склала 331,46±32,02, перевищивши контрольні значення у 2,0 раза (p<0,05).

Зіставлення результатів проведених експериментів показало, що характер і ступінь вираженості структурних змін залежали від частоти електричного подразника, яка впливає на структурну перебудову МВ. В умовах низькочастотної (10 Гц) електронейроміостимуляції структурні зрушення у МВ свідчать про посилення потужності енергопродуруючої системи (аеробного і гліколізного шляхів) у МВ, що можна розглядати як ознаку підвищення стійкості м'язів до втоми під час фізичного навантаження у вигляді електростимуляції [8, 16].

Той факт, що при електростимуляції з частотами 100 і 1000 Гц кількісні показники мітохондрій не тільки не збільшувалися, але в тій чи іншій мірі знижувалися, а вміст глікогену був підвищеним порівняно з контролем, можливо, вказує на зростання ролі гліколізу в процесах утворення енергії [1]. Не виключено, що накопичення глікогену пов'язано також із порушенням його утилізації при невідповідності ритму подразника і швидкості процесів відновлення внутрішньоклітинних резервів [5, 20].

Накопичені в галузі електростимуляції експериментальні, а також клінічні спостереження вказують, що цей метод виявився ефективним у багатьох випадках там, де іншими засобами не вдавалося допомогти хворому [10].

На нашу думку, виявлений у тварин КГ відносно високий вміст сполучної тканини, невелика чисельність

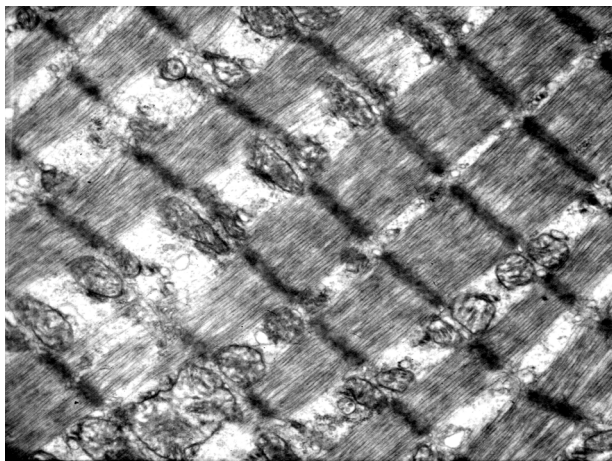


Рис. 2. Ультраструктурна організація м'язового волокна прямого м'яза живота щура після електростимуляції з частотою 100 Гц. Позначення: 1 – саркомер, 2 – мітохондрія, 3 – цистерни саркоплазматичної сітки. Стрілками показані триади. Поздовжній зріз. Електронна мікрофотографія. Зб.: x 15000

рівняно з КГ елементи саркоплазматичної сітки, особливо її термінальні цистерни (рис. 2). У кількісному відношенні це виразилося у статистично вірогідному збільшенні відносного об'єму цієї системи (p<0,05). Значно підвищилися резерви глікогену, що, на думку окремих авторів [20, 21], вказує на позитивний вплив

капілярів, наявність у МВ вогнищевих деструктивних порушень мітохондріального і міофібрилярного апарату, можна розглядати як ознаки гіпотрофії. Остання є наслідком зниженої рухової активності внаслідок больової реакції у зв'язку з дефектом передньої черевної стінки і защемлення тканин гризового мішка [19]. Підтвердженням цього припущення служать дані клінічного дослідження [3, 14], які вказують на вимушене зниження фізичної активності внаслідок больових відчуттів навіть незначної інтенсивності вже при початковій формі (так зване прорізування грижі).

Таким чином, електростимуляція призводить до збільшення питомої частки МВ по відношенню до сполучної тканини, покращує їх кровопостачання, підвищує окиснювальну потужність [8, 17]. Подібні зміни описані в скелетних м'язах після відновлення їх рухливості за допомогою фізичного навантаження середньої аеробної потужності у щурів різного віку, які попередньо перебували в стані довготривалої гіпокінезії [22]. Співвідношення м'язової та сполучної тканини швидко нормалізується завдяки переважному розвитку МВ, однак їх типовий склад при цьому не змінюється [3].

Дані про підвищення потужності мітохондріального апарату МВ у дорослих тварин збігаються з результатами експериментів про вплив електростимуляції на скелетні м'язи людей [10]. Збільшення потужності мітохондріального апарату та відповідне зростання окисного потенціалу МВ визначають підвищення резистентності м'язів до стомлення, що є одним з основних критеріїв тренуваності м'язів [2, 4, 7, 9].

#### Висновки

1. Розглядаючи електростимуляцію як корегуючий тренувальний фактор, слід визнати, що електричне поле з частотою 10 Гц є найбільш ефективним із застосованих в експерименті режимів, оскільки функціональні та структурні характеристики свідчать про більшу вираженість ознак підвищення стійкості до втоми при меншому ступені функціональної напруги м'язових волокон.

2. Результати дослідження дозволяють стверджувати, що морфологічні зміни у прямому м'язі живота у тварин експериментальної групи, які спостерігаються після електростимуляції, складають структурну основу функціональної реабілітації м'язів передньої стінки живота при вентральних грижах.

**Перспективи подальших досліджень.** Доцільно продовжувати дослідження кореляції морфологічної перебудови м'язів під впливом електростимуляції та інших факторів фізичної реабілітації і клінічних показників у хворих з вентральними грижами для створення оптимальної програми ведення цих пацієнтів із метою зниження кількості післяопераційних ускладнень.

#### Список літератури

1. Витензон А, Петрушанская К, Гриценко Г, Шалыгин В, Сутченков И. Биомеханическое и нейрофизиологическое обоснование применения фазовой электрической стимуляции мышц у детей с гемипаретической формой

- детского церебрального паралича. Российский журнал биомеханики. 2016;20(2): 150-67.
2. Руденко ОВ, Цюрюпа С, Сарвазан А. Напряжение скелетных мышц как способ защиты костей и суставов от ударных нагрузок. Акустический журнал. 2018;64(7): 14-25.
  3. Kupeev R, Belih E, Troitskiy A. Phyto-laser phoresis and electrostimulation in the relief of pain following a sports injury. New Medical Technologies. 2015;9(3): 132-37.
  4. Maystrenko E, Chernikov N, Gorbunov D, Gavrilenko T, Berestin D. Thermodynamic method in analyzing of the parameters bioelectrical muscles at different static loads. Journal of New Medical Technologies. 2015;22(4): 7-12.
  5. Минигалин АД, Шумаков АР, Новожилов АВ, Самсонова АВ, Космина ЕА. Влияние предельной силовой нагрузки на максимальную изометрическую силу, электромиографические характеристики, мышечные боли и биохимические маркеры повреждения скелетных мышц. Физиология человека. 2015;41(1): 89-98.
  6. Щуров ВА, Хубаев НД, Митина ЮЛ, Скрипников АА. Восстановление сократительной способности мышц после закрытых переломов лодыжек. Физиология человека. 2015;41(1): 99-105.
  7. Gorbunov D, Elman K, Gavrilenko T, Chernikov N. Dynamics of parameters of bioelectrical activity of muscles in response-different static forces. Journal of New Medical Technologies. 2015;9(4): 10-15.
  8. Golenko T. Treatment of traumatic injuries of the brachial muscles by interstitial electrostimulation. New Medical Technologies. 2018;12(3): 42-46.
  9. Сегизбаева МО, Александрова НИ. Оценка устойчивости разных групп инспираторных мышц к утомлению при физической нагрузке на фоне моделируемой обструкции дыхательных путей. Физиология человека. 2014;40(6): 114-22.
  10. Sereda EV, Balitsky SE, Yunsu GA. Modern methods of tissue recovery and regeneration skeletal muscle. International Student Scientific Herald. 2018;6: 23-27.
  11. Khudoroshkov UG, Karagozian YS. Valuation of functional condition of masticatory muscles of patients with malocclusion combined with tmj dysfunction. Modern Problems of Science and Education. 2016;4: 45-48.
  12. Hoppert M. Microscopic techniques in biotechnology. Weinheim: Wiley-VCH; 2003. 455 p.
  13. Ивченко Ю. Статистика. Москва: Наука; 2014. 232 с.
  14. Василик Т.П. Порівняльний клініко-морфологічний аналіз пацієнтів з паховими грижами. Актуальні питання сучасної хірургії: мат-ли наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Хірургія України. 2018; 68(4), Додаток № 1: 40-45.
  15. Guttridge DC. Skeletal muscle regeneration. In: Hill, J. (ed.). Muscle. Fundamental Biology and Mechanisms of Disease. Elsevier. 2012;2: 921-33.
  16. Kyba M. (ed.) Skeletal Muscle Regeneration in the Mouse. New York: Springer-Verlag; 2016.
  17. Мелькумянц АМ. О принципах оптимальности при построении сети артериальных сосудов скелетных мышц. Успехи физиологических наук. 2018;4: 3-11.
  18. Langer C, Schaper A, Liersch T. Prognosis factors in incisional hernia surgery: 25 years of experience. Hernia. 2005;9(1): 16-21.
  19. Mayagoitia JC. Inguinal herioplasty with the prolene hernia system. Hernia. 2004;8(1): 64-66.
  20. Ахметов ИИ, Рогозкин ВА. Роль PGC-1 $\alpha$  в регуляции метаболизма скелетных мышц. Физиология человека. 2013;39(4): 123-32.
  21. Гольберг НД, Дружевская АМ, Рогозкин ВА, Ахметов ИИ. Роль mTOR в регуляции метаболизма скелетных мышц. Физиология человека. 2014;40(5): 123-32.
  22. Попель СЛ. Особенности реакции элементов простой

## Оригінальні дослідження

рефлекторной дуги при физической нагрузке после длительной гипокинезии. Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2014;48(4): 53–57.

## References

- Vitenzon A, Petrushanskaja K, Gricenko G, Shalygin V, Sutchenkova I. Biomechanicheskoe i neirofiziologicheskoe obosnovanie primeneniya fazovoj jelektricheskoy stimuljacji myshc u detej s gemipareticheskoj formoj detskogo cerebral'nogo paralicha [Biomechanical and neurophysiological rationale for the use of phase electrical muscle stimulation in children with hemiparetic form of cerebral palsy]. Rossijskij zhurnal biomehaniki. 2016;20(2): 150–67. (in Russian).
- Rudenko OV, Cjurjupa S, Sarvazjan A. Naprjazhenie skeletnyh myshc kak sposob zashhity kostej i sustavov ot udarnyh nagruzok [Skeletal muscle tension as a way to protect bones and joints from shock loads]. Akusticheskij zhurnal. 2018;64(7): 14–25. (in Russian).
- Kupeev R, Belih E, Troitskiy A. Phyto-laser phoresis and electrostimulation in the relief of pain following a sports injury. Journal of New Medical Technologies. 2015;9(3): 132–37.
- Maystrenko E, Chernikov N, Gorbunov D, Gavrilenko T, Berestin D. Thermodynamic method in analyzing of the parameters bioelectrical muscles at different static loads. Journal of New Medical Technologies. 2015;22(4): 7–12.
- Minigalin AD, Shumakov AR, Novozhilov AV, Samsonova AV, Kos'mina EA. Vlijanie predel'noj silovoj nagruzki na maksimal'nuju izometricheskuju silu, jelektromiograficheskie harakteristiki, myshechnye boli i biohimicheskie markery povrezhdenija skeletnyh myshc [Influence of maximum force load on maximal isometric strength, electromyographic characteristics, muscle pain and biochemical markers of skeletal muscle damage]. Fiziologija cheloveka. 2015;41(1): 89–98. (in Russian).
- Shhurov VA, Hubaev ND, Mitina JuL, Skripnikov AA. Vostanovlenie sokratitel'noj sposobnosti myshc posle zakrytyh perelomov lodyzhek [Recovery of muscle contraction after closed ankle fractures]. Fiziologija cheloveka. 2015;41(1): 99–105. (in Russian).
- Gorbunov D, Elman K, Gavrilenko T, Chernikov N. Dynamics of parameters of bioelectrical activity of muscles in response-different static forces. Journal of New Medical Technologies. 2015;9(4): 10–15.
- Golenko T. Treatment of traumatic injuries of the brachial muscles by interstitial electrostimulation. New Medical Technologies. 2018;12(3): 42–46. (in Russian).
- Segizbaeva MO, Aleksandrova NI. Ocenka ustojchivosti raznyh grupp inspiratornyh myshc k utomleniju pri fizicheskoj nagruzke na fone modeliruemoj obstrukcii dyhatel'nyh putej [Evaluation of the resistance of different groups of inspiratory muscles to fatigue during exercise on the background of a simulated airway obstruction]. Fiziologija cheloveka. 2014;40(6): 114–22. (in Russian).
- Sereda EV, Balitsky SE, Yunsi GA. Modern methods of tissue recovery and regeneration skeletal muscle. International Student Scientific Herald. 2018;6: 23–27.
- Khudoroshkov UG, Karagozyan YS. Valuation of functional condition of masticatory muscles of patients with malocclusion combined with tmj dysfunction. Modern Problems of Science and Education. 2016;4: 45–48.
- Hoppert M. Microscopic techniques in biotechnology., Weinheim: Wiley-VCH; 2003. 455 p.
- Ivchenko Ju. Statistika [Statistics]. Moskva: Nauka; 2014. 232 c. (in Russian).
- Vasilik T.P. Porivnjal'nij kliniko-morfologichnij analiz pacientiv z pahovimi grizhami [Comparative clinical-morphological analysis of patients with inguinal hernias]. Aktual'ni pitannya suchasnoji hirurgiji: mat-li nauk.-prakt. konf. z mizhnar. uchastju. Hirurgija Ukraїni. 2018; 68(4), Dodatok № 1: 40–45. (in Ukrainian).
- Guttridge DC. Skeletal muscle regeneration. In: Hill, J. (ed.). Muscle. Fundamental Biology and Mechanisms of Disease. Elsevier. 2012;2: 921–33.
- Kyba M. (ed.) Skeletal Muscle Regeneration in the Mouse. New York: Springer-Verlag; 2016.
- Mel'kumjanc AM. O principah optimal'nosti pri postroenii seti arterial'nyh sosudov skeletnyh myshc [On the principles of optimality in building a network of arterial vessels of skeletal muscles]. Uspehi fiziologicheskijh nauk. 2018;4: 3–11. (in Russian).
- Langer C, Schaper A, Liersch T. Prognosis factors in incisional hernia surgery: 25 years of experience. Hernia. 2005;9(1): 16–21.
- Mayagoitia JC. Inguinal herioplasty with the prolene hernia system. Hernia. 2004;8(1): 64–66.
- Ahmetov II, Rogozkin VA. Rol' PGC-1 $\alpha$  v reguljácii metabolizma skeletnyh myshc. Fiziologija cheloveka. [The role of PGC-1 $\alpha$  in the regulation of skeletal muscle metabolism]. 2013;39(4): 123–32. (in Russian).
- Gol'berg ND, Druzhevskaja AM, Rogozkin VA, Ahmetov II. Rol' mTOR v reguljácii metabolizma skeletnyh myshc [The role of mTOR in the regulation of skeletal muscle metabolism]. Fiziologija cheloveka. 2014;40(5): 123–32. (in Russian).
- Popel' SL. Osobennosti reakcii jelementov prostoji reflektornoj dugi pri fizicheskoj nagruzke posle dlitel'noj gipokinezii [Features of the reaction of elements of a simple reflex arc during exercise after prolonged hypokinesia]. Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta. 2014;48(4): 53–57. (in Russian).

## Відомості про автора:

Василик Тарас Петрович — аспирант кафедри фізичної терапії, ерготерапії, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ, Україна.

## Сведения об авторе:

Василик Тарас Петрович — аспирант кафедры физической терапии, эрготерапии, Прикарпатский национальный университет имени Василия Стефаника, г. Ивано-Франковск, Украина.

## Information about the author:

Vasylyk Taras — aspirant of the Department of Physical Therapy, Ergotherapy Vasylyk Taras Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine.

Надійшла до редакції 10.04.2019  
Рецензент — проф. Польовий В.П.  
© Т.П. Василик, 2019