

DOI: 10.26693/jmbs07.02.231

УДК 61:577.1: 31.27.51-796.331.441

Гуніна Л. М.<sup>1</sup>, Бєленічев І. Ф.<sup>2</sup>,

Данильченко С. І.<sup>3</sup>, Козлова О. К.<sup>1</sup>

## ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ЕРГОГЕННОЇ ДІЇ НЕФАРМАКОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ АНТИОКСИДАНТНОЇ СПРЯМОВАНОСТІ

<sup>1</sup> Олімпійський інститут Національного університету фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

<sup>2</sup> Запорізький медичний університет, Запоріжжя, Україна

<sup>3</sup> Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, Україна

Однією з потужних методологій ергогенного характеру є застосування вібраційних навантажень у режимі «вібрації всього тіла», що за частотою коливань здебільшого співпадає з частотою коливань мікроструктур самого організму.

Для оцінки ефективності вібраційних навантажень як нефармакологічного ергогенного засобу було обрано вібраційні навантаження як один з самих характерних механічних впливів на організм людини. У дослідженні ефективності та механізмів впливу вібраційних навантажень на організм спортсменів за допомогою вітчизняного спірально-вихрового тренажеру брали участь 24 представники циклічних видів спорту – кваліфіковані веслувальники на байдарках і каное, яких було розподілено на рівноцінні (по 12 осіб) за кількістю учасників групи – контрольну та основну. У динаміці досліджень оцінювали не тільки зміни під впливом додаткових вібраційних навантажень показників спеціальної фізичної працездатності, але й численні гомеостатичні параметри, що відображають вираженість окисного стресу, структурно-функціональний стан клітинних мембран, ступінь ендогенної токсичності, напруженість гуморального імунітету, а також системних чинників, що впливають на формування фізичної працездатності – активності фактору, індукованого гіпоксією та основного ангіогенного фактору.

Вібраційне навантаження після основного стандартного тренувального заняття створювали із застосуванням спірально-вихрового тренажеру «PLH-9051» протягом 30 хв. Обстеження учасників дослідження проводили до початку і по закінченні етапу безпосередньої підготовки до змагань.

Результати даних досліджень довели, що вібрація всього тіла в такому режимі не призводить до негативних змін основних стандартних лабораторних параметрів організму. При цьому встановлено, що достовірно покращуються показники як в

12-хвилинному тесті (характеристика витривалості) так і в однохвилинному тєсті (швидкісні характеристики).

Що ж стосується метаболічних змін, які є підґрунтям для таких перебудов параметрів спеціальної фізичної працездатності, то встановлено відсутність додаткової активації окисного стресу за вібраційних тренувань. Вібраційні навантаження, по-перше, спричиняють позитивний вплив саме на субклітинному рівні – знижується активність перекисного окиснення ліпідів і покращується антиоксидантний захист.

Водночас позитивні зміни виникають у ланках активації ангіогенетичних характеристик, які є опосередкованим відображенням зростання кількості мікросудин та покращання тканинного кровообігу зі збільшенням переносу кисню та пластичних і енергетичних субстратів.

Таким чином, згідно отриманим даними, вібраційні навантаження у режимі вібраційного навантаження всього тіла тривалістю 30 хв після стандартного тренувального навантаження аналогічні гіпоксичним умовам тренувань, проте без виникнення окисного стресу, та можуть використовуватися з тією ж самою метою – для покращання адаптаційних механізмів та зростання фізичної працездатності на спеціально-підготовчому етапі спортсменів, що спеціалізуються у циклічних видах спорту, а у більш загальному трактуванні – у видах спорту з переважно аеробним механізмом енергозабезпечення.

**Ключові слова:** спорт, фізична працездатність, вібраційні навантаження, метаболічні зміни, окисний стрес, гіпоксія, ангіогенез.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано у рамках двох науково-дослідних робіт Національного університету фізичного виховання і спорту України

«Підвищення ефективності тренувальної і змагальної діяльності кваліфікованих спортсменів дозволеними способами і методами відновлення і стимуляції працездатності» (№ держ. реєстрації 0111U001731), та «Структура і зміст багаторічної підготовки спортсменів у сучасних умовах розвитку спорту» (№ держ. реєстрації 0121U108197).

**Вступ.** Підвищення фізичної працездатності під впливом значних тренувальних навантажень при забезпеченні повноцінного відновлення та попередження виникнення стану перетренованості є важливими складовими підтримання здоров'я та якості життя спортсменів [1, 2]. Позатренувальні засоби як фармакологічного, так і нефармакологічного походження призначені саме для цілеспрямованого впливу на різні функціональні та метаболічні ланки, що є більш уразливими при фізичних навантаженнях, а також на організм в цілому [3, 4]. Ці засоби можуть бути використані на фоні тренувальних навантажень для підвищення фізичної працездатності за відносно короткий термін і водночас повинні забезпечувати зменшення ризику перевтоми [5].

Однією з вагомих складових виникнення перевтоми та зниження фізичної працездатності є активація переокисного окиснення ліпідів (ПОЛ) та виникнення окисного (або оксидативного) стресу (ОС), що постійно супроводжують фізичні навантаження, особливо у спортсменів високої кваліфікації, за одночасного пригнічення активності ендогенної антиоксидантної системи [6]. Проблемі застосування у спортсменів різноманітних засобів стимуляції працездатності (ергогенних засобів) присвячено цілу низку досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених, зокрема, досліджень стосовно змін параметрів прооксидантно-антиоксидантної рівноваги (ПАР) в сироватці крові [7]. Проте кількість робіт, присвячених систематизованому дослідженню різних сторін механізмів впливу позатренувальних фармакологічних факторів антиоксидантної спрямованості при одночасному вирішенні завдань підвищення працездатності і збереження здоров'я атлетів, дуже незначна, і це створює передумови для актуальності розробки такого напрямку.

Застосування засобів відновлення або стимуляції працездатності, неадекватних поточному функціональному стану організму спортсмена, може призводити до зниження ефективності або зміни спрямованості тренувального ефекту цього зайняття або до виникнення несприятливих побічних ефектів [8]. Це особливо важливо враховувати в процесі відновлення спортсменів, особливо після зайняття з великими тренувальними навантаженнями в мікроциклі підготовки, оскільки без раціонального підходу до використання засобів відновлення не може бути використані суто

ергогенні засоби. У зв'язку з цим виникає необхідність в формуванні алгоритму використання засобів стимуляції працездатності [9]. Це, з точки зору авторів, можливо лише за умов знання первинної точки прикладання дії засобу та адекватної оцінки його впливу на організм із застосуванням сучасних технологій, які повинні відображувати ті зміни метаболічного та функціонального характеру, що виникають в організмі під впливом того або іншого запропонованого методу стимуляції фізичної працездатності. Слід враховувати, що така оцінка може ґрунтуватися як на загальнобіологічних та загальноприйнятих чинниках, що відображають особливості стану організму, притаманні тренувальним навантаженням, так й на застосуванні новітніх технологій, що дають змогу адекватно оцінити активність основних метаболічних ланок, які лімітують фізичну працездатність спортсменів.

Що стосується нефармакологічних ергогенних засобів з антиоксидантною спрямованістю дії, то, незважаючи на значний масив джерел літератури з цього питання, в яких висвітлено ефективність окремих впливів різного характеру у представників різних видів спорту [10], то слід підкреслити, що їхнє застосування є мало систематизованим, не має під собою визначених механізмів впливу на основні ланки гомеостазу, тому теж потребує систематизації факторів, що визначають ергогенну дію цих засобів та методів, які приводять до покращання параметрів загальної та спеціальної працездатності спортсменів та які б дали змогу в реальному масштабі часу із використанням методів доказової медицини та біології оцінити ефективність дії будь-якого чинника.

В цій роботі буде розглянуто підходи до визначення механізму дії позатренувальних ергогенних факторів нефармакологічного характеру на прикладі вібраційних навантажень як одного з самих характерних механічних впливів на організм людини. Саме вібраційне навантаження як ергогенний позатренувальний чинник було обрано тому, що воно вважається самим універсальним та характерним механічним впливом серед усіх відомих [11], оскільки спричиняє дію практично на усі рівні організації цілісної системи, якою є живий організм: серцево-судинну та респіраторні системи, ендокринну, метаболічну, рухову функції, сенсорні процеси, центральну нервову систему тощо. У механізмі впливу вібрації на організм велике значення мають фізико-хімічні та біохімічні процеси, які виникають у живих тканинах. Тому слід розцінювати фізіологічну реакцію біологічної системи, що відбувається, на зовнішні подразники як наслідок процесів на клітинному рівні. Але недостатньо залишається невизначеним механізм впливу вібраційних навантажень на більш тонких рівнях

організації організму – *макромолекулярному* і субклітинному рівні, а саме, *на* рівні перебудови структурно-функціонального стану мембран, яка дає перший стимул для подальших метаболічних змін в організмі.

**Мета дослідження** – оцінити ефективність застосування нефармакологічних засобів з антиоксидантним характером дії при вібраційних навантаженнях у спортсменів.

**Матеріал та методи дослідження.** У дослідженні ефективності та механізмів впливу вібраційних навантажень на організм спортсменів за допомогою вітчизняного спірально-вихрового тренажеру (СВТ) брали участь 24 представники циклічних видів спорту – кваліфіковані веслувальники на байдарках і каное (4 спортсмени з кваліфікацією «МСУ», 18 – з кваліфікацією «КМСУ», 2 – з I дорослим розрядом). Середній вік спортсменів-чоловіків становив  $21,4 \pm 1,4$  років. Середній вік 10 умовно здорових осіб – чоловіків-донорів, що були обрані для порівняння гомеостатичних характеристик, склав  $22,8 \pm 3,1$  роки.

Проведення дослідження не суперечить нормам українського законодавства та відповідає вимогам Закону України «Про наукову і науково-технічну діяльність» від 26 листопада 2015 року № 848-VIII. Кожен учасник підписував інформовану згоду на участь у дослідженні, і вжиті всі заходи для забезпечення анонімності учасників.

СВТ «PLH-9051» (виробник НПК ВТУЗ, Україна; сертифікат відповідності № 520350, атестат акредитації ДЗ № 10 023 від 18.12.2006 р. ДСТУ 3135.25-95, ДСТУ CISPR 14-1:2004) дозволений МОЗ України до застосування в оздоровчій практиці (висновок Держ. служби лікарських засобів і виробів мед. призначення МОЗ України № 6ВМ–1246/К від 05.09.2008 р.). Учасники дослідження (чоловіки) за методом випадкової вибірки були розділені на 2 співставні за кількістю учасників, їх віком і кваліфікацією групи, до основної з яких увійшли 12 спортсменів, що впродовж обраного 14-денного мезоциклу займалися на СВТ безпосередньо після тренувальних занять у динаміці етапу безпосередньої підготовки до змагань (ЕБПП). Контрольна група з 12 спортсменів включала спортсменів, які тренувались за тією самою програмою, але без додаткових вібраційних навантажень.

При застосуванні в дослідженні СВТ «PLH-9051» використовували наступний режим: частота – 50 Гц, амплітуда – 30 мм, час роботи – 30 хв. Рух платформи СВТ здійснювався в горизонтальній (обертальні рухи за годинниковою стрілкою) і вертикальній площині (зверху вниз і назад), створюючи поштовховий момент. При використанні СВТ були задіяні дві швидкості обертання платформи, причому, на малій швидкості ( $3600 \text{ об} \times \text{мін}^{-1}$ )

більшою мірою активується обмін речовин в сполучній тканині, а на великій швидкості ( $7200 \text{ об} \times \text{мін}^{-1}$ ) переважно активується відтік венозної крові і лімфи від оброблюваної зони. Вібраційні навантаження тривалістю 30 хв в режимі «вібрація всього тіла», або WBV (від англ. *Whole Body Vibration*), здійснювали після основного стандартного тренувального навантаження. Обстеження учасників дослідження проводили двічі: до початку і по закінченні обраного мезоциклу в динаміці етапу безпосередньої підготовки до змагань. Педагогічні дослідження щодо визначення показників фізичної працездатності при застосуванні вібраційних навантажень здійснювали за допомоги канд. наук з фізичного виховання і спорту доцента Р.В. Головащенко.

В обстежених спортсменів визначали вміст та активність основних стандартних лабораторних показників, характеризуючи гематологічний та біохімічний гомеостаз. З гомеостатичних показників, що можуть надати об'єктивну картину вираженості окисного стресу та викликані їм структурно-функціональні перебудові у клітинних мембранах, визначали наступні – вміст малонового діальдегіду (МДА) і відновленого глутатіону (GSH) з обрахуванням прооксидантно-антиоксидантного коефіцієнту ( $K_{\text{на}}$ ) та сорбційну здатність еритроцитів. Крім того, із використанням сучасних імуноферментних методів досліджували вміст фактору, індукованого гіпоксією (HIF-1 $\alpha$ ), основного ангіогенного фактору – фактору росту ендотелію судин (VEGF), факторів гуморальної імунної відповіді (імуноглобулінів класів А, G, М та циркулюючих імунних комплексів – ЦІК), а також вмісту середньомолекулярних пептидів (СМП), що є відображенням ступеня ендогенної інтоксикації.

Крім того, у спортсменів в динаміці етапу безпосередньої підготовки до змагань визначали загальноприйняті для веслувальників на байдарках і каное показники спеціальної фізичної працездатності [9].

Отримані дані обробляли за стандартними методами параметричної та непараметричної статистики [12]. Розрахунки проводили за допомогою комп'ютерного інтегрованого статистичного та графічного пакету Microsoft Excel XP, а також ліцензійної програми GraphPadInStat (*GraphPad Software, USA*).

Під час обробки вибірових даних вираховувались: середнє арифметичне значення  $\bar{x}$ , середнє квадратичне відхилення  $S$  (стандартне відхилення), за необхідності – дисперсія  $S^2$ . Оцінку відповідності показників нормальному закону розподілу перевіряли за допомогою критерію Шапіро-Уїлкі. Для визначення статистичної значимості різниці між показниками вибірок використовувався

критерій Стьюдента ( $t$ ) за умови, коли розподіл вибірок відповідав нормальному закону. За умови, якщо вибірка не відповідала нормальному закону розподілу, використовувалися критерії Вілкоксона та Манна-Уїтні. Задавався рівень надійності  $P=95\%$  (імовірність помилки 5 %, тобто рівень значущості  $p=0,05$ ).

**Результати дослідження та їх обговорення.** Результати даних досліджень довели, що вібрація всього тіла в такому режимі не призводить до негативних змін основних стандартних лабораторних параметрів організму. Під час аналізу даних щодо змін основних гомеостатичних параметрів при застосуванні протягом 2 тижнів (мезоцикл) вібраційних навантажень на спірально-вихровому тренажері у динаміці ЕБПП перевірка отриманих експериментальних даних (значення гематологічного і біохімічного гомеостазу) на відповідність закону нормального розподілу, показала, що гіпотеза про нормальність розподілу має бути відкинута, внаслідок чого подальшу математичну обробку даних проводили із застосуванням методів непараметричної статистики, а саме із використанням критерію Краскела-Уолліса (**табл. 1**).

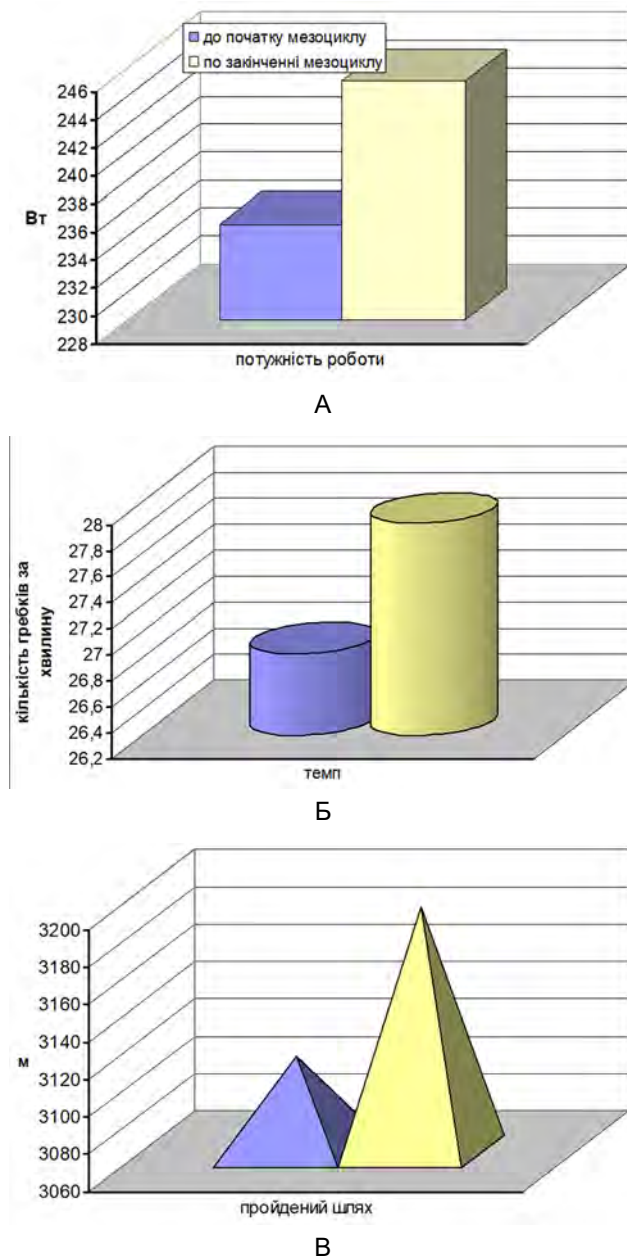
Під час аналізу даних стосовно показників спеціальної працездатності веслувальників встановлено, що, наприклад, в 12-хвилинному тесті (характеристика витривалості) у спортсменів до початку досліджень потужність виконуваної роботи складала  $234,85 \pm 21,87$  Вт, темп –  $26,83 \pm 2,89$  гребки за хвилину, а пройдений при виконанні вправи шлях не перевищував  $3110,97 \pm 126,59$  м. У однохвилинному тісті (швидкісні

**Таблиця 1** – Результати гематологічного і біохімічного обстеження веслувальників високої кваліфікації у динаміці вібраційних навантажень

Показник, що вимірювали	Термін обстеження		Статистичні параметри	
	До початку мезоциклу (n=24)	По закінченні мезоциклу тренування + СВТ (n=24)	Критерій Краскела-Уолліса H, ступінь свободи = 3	P
WBC, $10^9 \cdot \text{л}^{-1}$	8,75 (8,0; 9,6)	4,5 (3,8; 6,35)	15,46	0,001*
RBC, $10^{12} \cdot \text{л}^{-1}$	5,83 (5,29; 6,25)	4,87 (4,69; 4,91)	8,64	0,034*
Hb, г·л <sup>-1</sup>	166 (154; 173)	133,0 (130,0; 136,0)	8,81	0,032*
Ht, %	53,0 (52,2; 61,9)	39,0 (38,3; 40,4)	16,44	0,001*
MCV, fl	103,5 (99,2; 106,7)	82,9 (79,2; 84,9)	17,45	0,006*
MCH, пг	26,6 (25,9; 30,0)	27,8 (26,5; 28,9)	0,48	0,92
MCHC, г·дл <sup>-1</sup>	26,2 (25,5; 28,1)	33,5 (33,4; 34,0)	17,66	0,001*
RDW, %	18,8 (18,4; 21,1)	14,2 (13,6; 14,6)	17,41	0,001*
PLT, $10^9 \cdot \text{л}^{-1}$	199,0 (188,0; 228,0)	204,0 (191,0; 214,0)	4,68	0,19
Заг. білірубін, мкмоль·л <sup>-1</sup>	74,0 (65,5; 84,5)	72,0 (65,0; 80,0)	2,54	0,47
Заг. білок, г·л <sup>-1</sup>	8,1 (8,05; 9,25)	9,2 (8,1; 11,4)	3,78	0,32
Сечовина, ммоль·л <sup>-1</sup>	5,0 (4,72; 5,42)	8,1 (5,2; 8,9)	13,54	0,0003*
Креатинін, ммоль·л <sup>-1</sup>	93,0 (85,7; 99,7)	94,0 (68,0; 101,0)	8,36	0,039*
Глюкоза, ммоль·л <sup>-1</sup>	4,4 (3,9; 4,6)	4,5 (4,2; 5,1)	3,53	0,32
K <sup>+</sup> , ммоль·л <sup>-1</sup>	6,0 (5,47; 7,85)	6,95 (6,75; 7,6)	1,59	0,66
Na <sup>+</sup> , ммоль·л <sup>-1</sup>	148,0 (146,7; 150,2)	148,5 (147,5; 149,5)	1,15	0,77
Ca <sup>2+</sup> іоніз., ммоль·л <sup>-1</sup>	0,97 (0,93; 1,03)	0,96 (0,93; 0,97)	5,94	0,11
α-амілаза, U·л <sup>-1</sup>	167,0 (113,0; 229,2)	82,0 (71,5; 400,5)	0,86	0,83
АлТ, U·л <sup>-1</sup>	27,0 (16,2; 35,9)	15,5 (14,5; 17,0)	2,36	0,49
АсТ, U·л <sup>-1</sup>	27,3 (26,3; 36,9)	27,0 (25,0; 28,0)	1,04	0,79
γ-ГТ, U·л <sup>-1</sup>	15,3 (13,1; 19,6)	13,5 (10,9; 16,5)	3,14	0,37



характеристики) аналогічні показники склали відповідно  $504,22 \pm 77,59$  Вт,  $46,51 \pm 4,10$  гребоків за хвилину і  $449,11 \pm 44,75$  м. По закінченні мезоциклу із застосуванням вібраційних навантажень у веслувальників у 12-хвилинному тісті потужність складала  $245,09 \pm 9,34$  Вт, темп гребків збільшився рівно на 1,0 за хвилину, а середній пройдений в ході виконання вправи шлях досяг значення  $3190,75 \pm 56,68$  м (рис. 1 а, б, в). Аналогічна тенденція відзначається й при аналізі результатів, отриманих в однохвилинному тісті.



**Рис. 1** – Вплив вібраційних навантажень на зміни показників спеціальної тренуваності в 12-хвилинному тесті в основній групі веслувальників на байдарках і каное у динаміці ЕБПП:

А – зміни потужності роботи, Б – зміни темпу гребків, В – зміни середнього пройденого шляху (наведено тільки результати основної групи, оскільки дані змін у контрольній групі не мають достовірного характеру)

Таким чином, при застосуванні стандартних тренувальних навантажень додаткових вібраційних навантажень протягом двотижневого мезоциклу у структурі ЕБПП змінюються усі досліджені параметри загальної та спеціальної фізичної працездатності веслувальників на байдарках і каное.

У зв'язку з обмеженим об'ємом вибірок та близькими результатами у окремих учасників дослідження не вдалося виявити статистично значущі відмінності при використанні *t*-критерію Стьюдента, але застосування непараметричного *H*-критерію Краскела-Уолліса вказує на наявність статистично значущих відмінностей між даними у контрольній і дослідній групах.

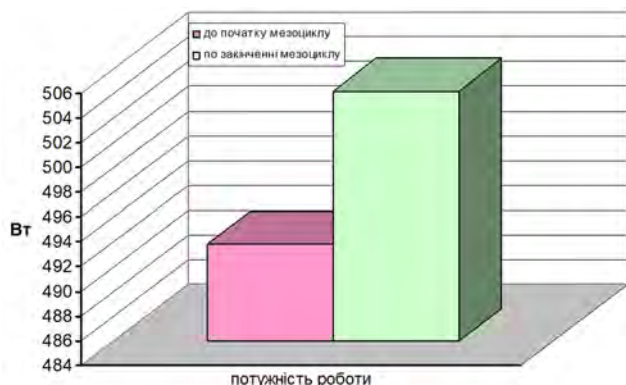
Що стосується змін спеціальної працездатності при виконанні однохвилинного тесту, то при одночасному залученні вібраційних навантажень показана позитивна динаміка вивчених параметрів у спортсменів основної групи (рис. 2).

Отримані дані щодо наявності стимулюючого впливу на організм спортсменів вібраційних навантажень у режимі WBV дали підґрунтя для пошуку тонких механізмів впливу вібраційних навантажень на зростання параметрів спеціальної тренуваності спортсменів. По-перше, оскільки в попередніх розділах роботи показано, що наявність антиоксидантного впливу асоціюється з наявністю ергогенних властивостей чинника, було проведено визначення змін активності процесів ПОЛ та антиоксидантного захисту в клітинних мембранах і параметрів функціонального стану останніх, для чого 24 спортсменів було розподілено на 2 групи, репрезентативних за віком і кваліфікацією методом випадкової вибірки (табл. 2).

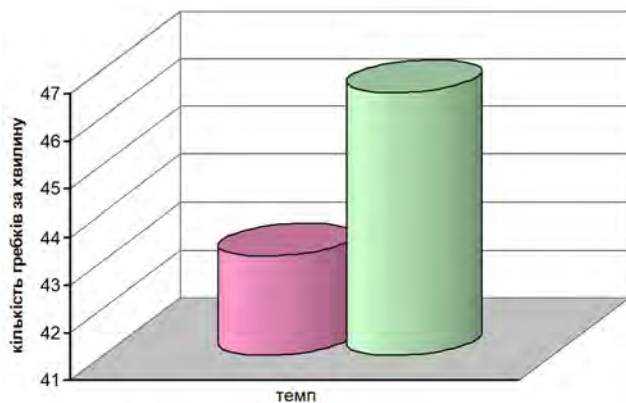
Отримані дані свідчать, що вібраційні навантаження, по-перше, спричиняють позитивний вплив саме на субклітинному рівні – знижується активність ПОЛ і покращується антиоксидантний захист, на що вказує зниження прооксидантно-антиоксидантного коефіцієнту  $K_{\text{па}}$  більш ніж удвічі. Водночас поліпшується структурно-функціональний стан мембран, що відображається суттєвим зниженням показника її сорбційної здатності.

Це приводить до того, що поліпшується функціонування мембранозв'язаних ферментів, до яких належать трансмембранні ферменти, що володіють каталітичною активністю щодо спряжених реакцій на протилежних сторонах мембрани (в першу чергу, окислювально-відновні ферменти), трансмембранні ферменти, які беруть участь у переносі речовин (АТФ-ази); компоненти електрон-транспортних ланцюгів (P450 і цитохром  $b_5$ ); ферменти, що використовують мембранні субстрати (фосфоліпази, гліколіпази); ферменти, які використовують водорозчинні субстрати (ацетилхолінестераза, ферменти гідролізу складних вуглеводів);

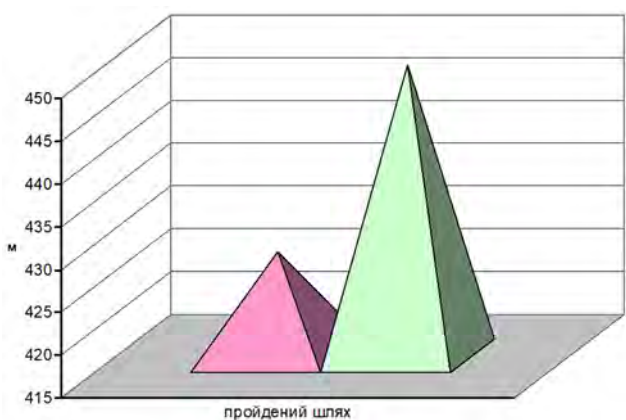
ферменти, які утворюють мембранозв'язаний комплекс для полегшення каналізації субстрату (ферменти циклу Кребса) та, наприкінці, ферменти, що здійснюють човникові переміщення між цитозолем і мембраною та активність яких моделюється зв'язуванням з мембраною (піруватоксидаза, протеїнкіназа С, ензими каскаду згортання крові) [13, 14].



А



Б



В

**Рис. 2** – Вплив вібраційних навантажень на зміни показників спеціальної тренуваності в однохвилинному тесті в основній групі веслувальників на байдарках і каное у динаміці ЕБПП:

А – зміни потужності роботи, Б – зміни темпу гребків, В – зміни середнього пройденого шляху (наведено тільки результати основної групи, оскільки дані змін у контрольній групі не мають достовірного характеру)

**Таблиця 2** – Вплив вібраційних навантажень на показники структурно-функціонального стану клітинних мембран у динаміці ЕБПП

Показник, що вимірювали	Групи обстежених спортсменів і термін дослідження		
	значення показників ( $\bar{x} \pm S$ )		
	до початку мезоциклу (n=24)	контрольна по закінченні мезоциклу (n=12)	дослідна по закінченні мезоциклу (n=12)
МДА, нмоль $\times 10^6$ ер.	5,21 $\pm 0,12$	5,99 $\pm 0,13^*$	4,54 $\pm 0,09^{**}$
GSH, $10^{-12}$ ммоль $\times$ ер. $^{-1}$	2,19 $\pm 0,10$	2,06 $\pm 0,13$	3,66 $\pm 0,17^{**}$
СЗЕ, %	36,07 $\pm 2,08$	33,9 $\pm 2,19^*$	24,4 $\pm 1,11^{**}$
K <sub>па</sub> , ум. од.	2,38 $\pm 0,02$	2,91 $\pm 0,05^{**}$	1,28 $\pm 0,04^{**}$

**Примітки:** \* – зміни статистично значущі (P < 0,05) порівняно з даними до початку мезоциклу; # – зміни статистично значущі (P < 0,05) порівняно з даними в контрольній групі

Тобто практично усі найважливіші метаболічні зрушення в організмі, що каталізуються ферментами, є залежними від структурно-функціонального стану клітинних мембран, оскільки останній виступає як регулятор активності та четвертинної структури ферментів. Таким чином, згідно даним сучасної літератури, покращання структурно-функціонального стану мембран, в тому числі внаслідок впливу вібраційних навантажень, є тою первинною ланкою, яка відповідає за майже усі подальші метаболічні перетворення, що лежать в основі адаптаційних реакцій та є підґрунтям для зростання фізичної працездатності. На основі отриманих даних можна вважати, що методологія оцінки ефективності застосування не тільки антиоксидантних фармакологічних, але й нефармакологічних засобів, які можуть спричиняти антиоксидантний вплив, може ґрунтуватися саме на дослідженні прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у мембранних структурах та їхнього функціонального стану. Це, на думку авторів, є загальним принципом у пошуку нових нефармакологічних ергогенних засобів.

Проте, як було наведено вище, вібраційні навантаження викликають в організмі вплив на показники гематологічного гомеостазу, зокрема, його еритроцитарної ланки, що подібний до дії умов середньогір'я. Тому цілком логічно прослідкувати, чи змінює вібрація активність процесів, які залежать в умовах змін ПАР від активності гіпоксія-індуцібельного фактору (HIF-1 $\alpha$ ) та відіграють, за даними сучасної літератури, найважливішу роль у формуванні адаптаційного потенціалу організму та зростанні працездатності, а саме, ангиогенезу та імунної відповіді [15, 16].

Було встановлено, що застосування вібраційних навантажень у режимі WBV за вказаною технологією стимулює розвиток тканинної гіпоксії, що підтверджується достовірним зростанням вмісту у сироватці крові HIF-1  $\alpha$  з  $1,04 \pm 0,18$  нг $\times$ мл<sup>-1</sup> до  $1,31 \pm 0,08$  нг $\times$ мл<sup>-1</sup> і супроводжується подальшою вираженою активацією процесів ангиогенезу та різноспрямованими зрушеннями показників гуморального імунітету (табл. 3).

можна говорити лише про тенденцію до їхнього підвищення. При цьому вміст циркулюючих імунних комплексів, що відображає загальний імунологічну відповідь на різноманітні впливи, за дії вібраційного навантаження знижується, тобто йде процес елімінації з організму спортсменів токсичних речовин. Це підтверджується визначенням вмісту середньомолекулярних пептидів, накопичення яких є характерним для процесу ендотоксикозу, притаманному спорту вищих досягнень (рис. 3).

**Таблиця 3** – Вплив вібраційних навантажень на показники активності ангиогенезу та імунного захисту спортсменів у динаміці мезоциклу

Показник, що вимірювали	здорові нетреновані особи (n=10)	Групи обстежених спортсменів і термін дослідження		
		загалом до початку мезоциклу (n=24)	контрольна по закінченні мезоциклу (n=12)	основна по закінченні мезоциклу (n=12)
значення показника в ( $\bar{x} \pm S$ )				
Вміст VEGF, пг $\times$ мл <sup>-1</sup>	14,6 $\pm$ 5,5	32,7 $\pm$ 4,7	39,6 $\pm$ 6,1	62,3 $\pm$ 6,8
Вміст IgA, мг $\times$ л <sup>-1</sup>	1650 $\pm$ 168	1850 $\pm$ 98	1720 $\pm$ 101	1940 $\pm$ 87
Вміст IgG, мг $\times$ л <sup>-1</sup>	12,4 $\pm$ 4,6	16,2 $\pm$ 2,8*	12,1 $\pm$ 2,0#	18,6 $\pm$ 1,9 <sup>Δ</sup>
Вміст IgM, мг $\times$ л <sup>-1</sup>	1742 $\pm$ 171	1786 $\pm$ 101	1650 $\pm$ 112	1788 $\pm$ 96
Вміст ЦІК, ум. од.	47,8 $\pm$ 5,6	56,7 $\pm$ 4,3*	66,5 $\pm$ 4,8#	50,6 $\pm$ 4,9 <sup>Δ</sup>

**Примітки:** \* – зміни статистично значущі (P < 0,05) порівняно з даними у здорових нетренованих осіб; # – зміни статистично значущі (P < 0,05) порівняно з даними до початку мезоциклу; <sup>Δ</sup> – зміни статистично значущі (P < 0,05) порівняно з даними в контрольній групі по закінченні мезоциклу

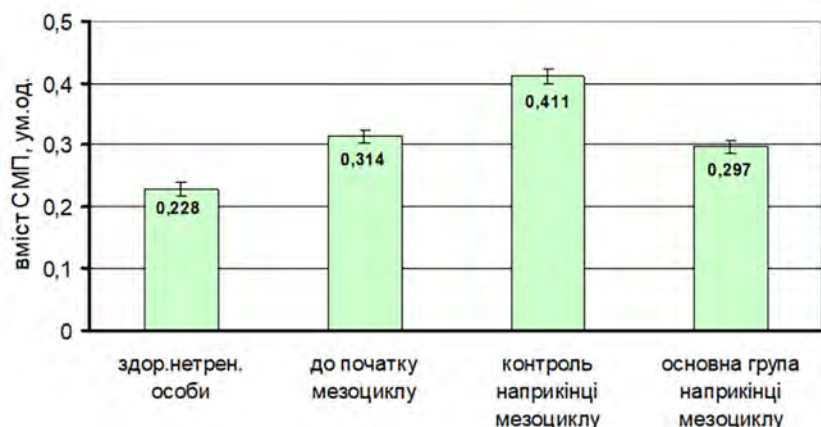
У загальному вигляді вплив вібраційних навантажень на тонкі показники гомеостазу, що здатні суттєво регламентувати фізичну працездатність, представлений таким чином (рис. 4).

Отримані дані можна вважати свідченням того, що активація процесів ангиогенезу та еритропоезу при вібраційних навантаженнях через фактор HIF-1 $\alpha$  без виникнення додаткового окисного стресу, а, навпаки, з поліпшенням ПАР на рівні клітинних мембран, спричиняє прямий вплив на фізичну працездатність, оскільки супроводжується поліпшенням кисень-транспортуючої функції крові. В той же час активація антиоксидантної системи приводить

Фізіологічний ангиогенез, який відображує швидкість утворення і росту кровоносних судин, в першу чергу, мікроциркуляторного русла, як відомо, активується в умовах відносної тканинної гіпоксії [17] та відображає ступінь пристосувальних реакцій до зростаючого навантаження і збільшення вмісту еритроцитів за виникаючої тканинної гіпоксії [18], наприклад, під час тренувань в умовах середньогір'я [19].

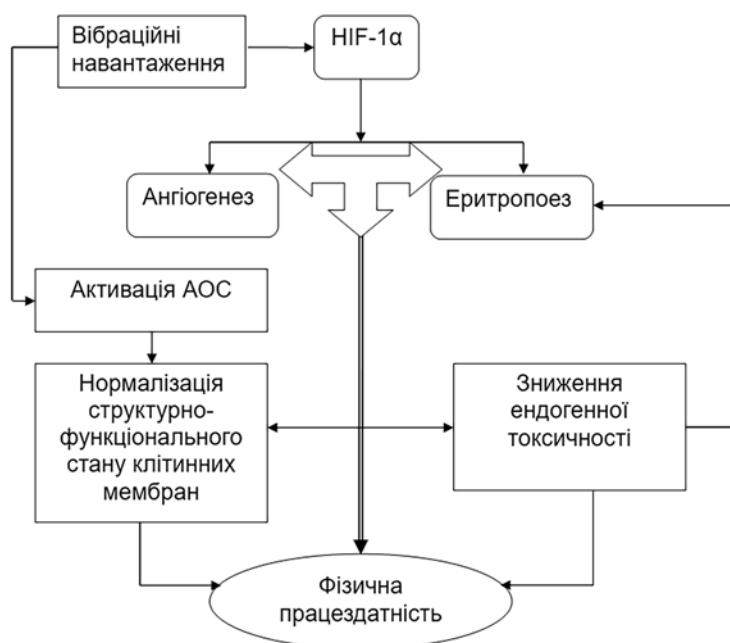
Отримані дані вказують, що спостерігається достовірне зростання вмісту IgG, який відповідає за наявність тривалого гуморального імунітету. Що стосується імуноглобулінів інших класів – А і М, які відповідно забезпечують місцевий та первинний імунітет у відповідь на гостру інфекцію, то

до покращання кількісної та якісної характеристик клітинних мембран, що опосередковано, через зниження ендогенної токсичності та оптимізацію роботи чисельних мембранозв'язаних ферментів, покращує пристосувальні реакції



**Рис. 3** – Вплив вібраційних навантажень на вираженість ендогенної токсичності за вмістом СМП у веслувальників у динаміці ЕБПП





**Рис. 4** – Схема біохімічного механізму реалізації ергогенного впливу вібраційних навантажень

організму до фізичних навантажень. Слід зауважити, що зниження ендогенної токсичності само по собі є фактором поліпшення імунної реактивності, поліпшення скорочувальної функції міокарду та функціонального стану альвеолярного матриксу, що супроводжується збільшенням показників, які характеризують резерви респіраторної системи.

Підтвердженням цього є покращання результатів змагальної діяльності при її моделюванні на веслувальному тренажері «Сонсерт-2». Так, при застосуванні вібраційних навантажень час проходження змодельованої змагальної дистанції 500 м зменшився в середньому на 26,28 % (з 2.00,11±0,00,04 с до 1.58,46±0,00,02 с), водночас виникли зміни у показнику середньої потужності при проходженні змагальної дистанції – середня потужність  $W_{500}$  зростає зі 193,06±0,7 Вт до 195,62±0,6 Вт. Це відображує загальну картину покращання показників змагальної діяльності спортсменів, які спеціалізуються у веслуванні на байдарках і каное, під впливом вібраційних навантажень. На основі отриманих даних стосовно позитивного впливу вібраційних навантажень у режимі WBV було створено алгоритми стимуляції фізичної працездатності у спортсменів – представників циклічних видів спорту

Під час аналізу отриманих даних на перший погляд виникає суперечливість, яка ґрунтується на можливості викликати ергогенний вплив на організм спортсменів без використання механізму гальмування процесів ПОЛ, тобто постає питання, шкідливим чи корисним є активація процесів вільно-радикального окиснення за фізичних навантажень? Відповідь на це непросте питання

лежить у вираженості змін ПАР та характері фізичних навантажень, впливу яких протягом тренувального процесу піддається спортсмен. Можна вважати, що на першому етапі багаторічної підготовки спортсменів активація процесів вільно-радикального окиснення, однозначно, є пристосувальним механізмом, а в подальшому може стати деструктивним фактором. У даному дослідженні брали участь виключно спортсмени, які вже мали кваліфікацію, тому вважаємо, що інгібування процесів ПОЛ та відновлення порушеного ПАР є необхідною складовою підтримки гомеостатичного балансу з метою попередження подальших метаболічних зрушень, які мають ерголітичний вплив на організм. Тому застосування додаткових вібраційних навантажень, згідно отриманих даних, все ж таки мало антиоксидантний вплив. В якому кількісному співвідношенні знаходяться позитивні та негативні моменти

від гальмування ПОЛ є поки що невідомим, оскільки активація HIF-1α за окисного стресу, по-перше, є фактором, який запускає компенсаторний механізм активації фізіологічного ангіогенезу, а, по-друге, на сьогодні відомо, хоча це дослідження має поодинокий характер, що додатковий прийом антиоксидантів у деяких випадках здатний посилювати прояви окисного стресу.

З іншого боку, останнім часом встановлено, що тренувальні навантаження ексцентричного характеру не супроводжуються виникненням негативних гомеостатичних зрушень, які призводять до порушень цілісності скелетних м'язів [20]. У даному випадку маємо справу з навантаженнями переважно циклічного характеру в ході тренувального процесу спортсменів, що супроводжуються виникненням ОС. Під час застосування вібрації у режимі WBV, вочевидь, навантаження носять саме ексцентричний характер і тому не викликають окисний стрес, а їхня ефективність, щодо зростання фізичної працездатності, як свідчать поодинокі дані сучасної літератури, ґрунтується на активації фізіологічного ангіогенезу на протигагу спазму судин, що опосередкований накопиченням простагландинів класу PGG-1α за інтенсивних фізичних навантажень [21]. Отримані в ході даного дослідження результати, між тим, доводять, що застосування вібраційних навантажень має сприятливий вплив на зростання фізичної працездатності, який ґрунтується на його антиоксидантному характері, теж супроводжується прискоренням процесу росту новоутворених судин, що підтверджується практичними результатами досягнення високої ефективності змагальної діяльності.



**Висновки.** Таким чином, згідно отриманим даним, вібраційні навантаження у режимі WBV з частотою коливань 50 Гц, амплітудою – 30 мм і часом роботи після стандартного тренувального навантаження тривалістю 30 хв аналогічні гіпоксичним умовам тренувань, проте без виникнення окисного стресу, та можуть використовуватися з тією ж самою метою – для покращання адаптаційних механізмів та зростання фізичної працездатності на спеціально-підготовчому етапі спортсменів, що спеціалізуються у циклічних видах спорту, а у більш загальному трактуванні – у видах спорту з переважно аеробним механізмом енергозабезпечення.

Принципами механізмів розвитку ергогенної дії таких нефармакологічних засобів повинне бути урахування, по-перше, загально-біохімічних механізмів, які властиві засобам, що використовуються з метою зростання фізичної працездатності, а саме, антиоксидантний та мембранотропний вплив на клітини організму. Другим важливим моментом є знання специфіки механізму дії засобу та побудована на цьому програма апробації та оцінки його ефективності за окремими конкретними параметрами. Встановлений вплив позатренувального ергогенного засобу з антиоксидантною спрямованістю дії на різні ланки гомеостазу, що опосередковують розвиток фізичної працездат-

ності, свідчить, що першою ланкою виникнення цих гомеостатичних зрушень є все ж таки перебування структурно-функціонального стану клітинних мембран, запобігання деструкції якої попереджає подальший розвиток гомеостатичних змін, що проводять до виникнення ерголітичного впливу на організм спортсменів.

**Перспективи подальших досліджень** в цьому напрямку полягають у оцінці дії впливу вібраційних навантажень на параметри загальної та спеціальної працездатності представників інших циклічних видів спорту (біг, плавання, велогонки та ін.), а також інших груп видів спорту – силових, складно-координаційних, єдиноборств – для вирішення питання щодо обґрунтованості застосування такої додаткової методології для зростання ергогенних якостей організм атлетів з переважно гліколітичним алактатним та лактатним анаеробним механізмом енергозабезпечення м'язової діяльності.

**Конфлікт інтересів.** Автори цього дослідження підтверджують, що дослідження та публікація результатів не були пов'язані з будь-якими конфліктами щодо комерційних чи фінансових відносин, відносинами з організаціями та / або особами, які, можливо, були пов'язані з дослідженням, і взаємозв'язками співавторів статті.

## References

1. Platonov VN, Oleynik SA, Gunyna LM. *Doping v sporte y problemy farmakologicheskogo obespecheniya podgotovki sportsmenov* [Doping in sports and the problems of pharmacological support for the training of athletes]. M: Sovetsky sport; 2010. 306 s. [Russian]
2. Bean A. *Sports supplements. What nutritional supplements really work?* London: A&C Black; 2007. 120 p.
3. Sukhorukov VS. *K razrabotke ratsyonalnykh osnov energotropnoy terapii* [To the development of rational foundations of energy-tropic therapy]. *Ratsyonalnaya farmakoterapiya*. 2007;(2):40–7. [Russian]
4. West DWD, Abou Sawan S, Mazzulla M, Williamson E, Moore DR. Whey Protein Supplementation Enhances Whole Body Protein Metabolism and Performance Recovery after Resistance Exercise: A Double-Blind Cross-over Study. *Nutrients*. 2017;9(7):735. PMID: 28696380. PMCID: PMC5537849. doi: 10.3390/nu9070735
5. Makarova GA, Polyayev BA. *Mediko-biologicheskoe obespechenie sporta za rubezhom* [Medical and biological support of sports abroad]. M: Sovetsky sport; 2012. 309 s. [Russian]
6. Ramana KV, Srivastava S, Singhal SS. Lipid Peroxidation Products in Human Health and Disease 2019. *Oxid Med Cell Longev*. 2019;2019:7147235. PMID: 31885812. PMCID: PMC6900947. doi: 10.1155/2019/7147235
7. Silva D, Arend E, Rocha SM, Rudnitskaya A, Delgado L, Moreira A, et al. The impact of exercise training on the lipid peroxidation metabolomic profile and respiratory infection risk in older adults. *Eur J Sport Sci*. 2019;19(3):384–93. PMID: 30035670. doi: 10.1080/17461391.2018.1499809
8. Mirzoev O.M. *Vosstanovitelnye sredstva v sisteme podgotovki sportsmenov* [Restorative means in the system of training athletes]. M: Fizkultura i sport; 2005. 220 s. [Russian]
9. Vinogradov VE, Mishchenko VS. *Effektivnost vzaimosvyazannogo ispolzovaniya sredstv vosstanovleniya i stimulyatsii rabotosposobnosti v mikrotsiklakh s bolshimi nagruzkami spetsialnoy napravlenosti (na primere akademicheskoy grebli)* [The effectiveness of the interconnected use of means of recovery and stimulation of working capacity in microcycles with high loads of a special direction (on the example of academic rowing)]. *Fizicheskoe vospitanie studentov*. 2011;(3):16-22. [Russian]
10. Fatouros IG, Chatzinikolaou A, Douroudos II, Nikolaidis MG, Kyparos A, Margonis K, et al. Time-course of changes in oxidative stress and antioxidant status responses following a soccer game. *J Strength Cond Res*. 2010;24(12):3278–86. PMID: 19996787. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b60444

11. Mikheev AA. *Teoriya i metodika vibratsionnoy trenirovki v sporte (biologicheskoe i pedagogicheskoe obosnovanie dozirovannogo vibrotreninga)* [Theory and methodology of vibration training in sports (biological and pedagogical substantiation of dosed vibration training)]. M: Sovetskiy sport; 2011. 615 s. [Russian]
12. Osipov VP, Lukyanova EM, Antipkin YuG. *Metodika statisticheskoy obrabotki meditsinskoj informatsii v nauchnykh issledovaniyakh* [Technique of statistical processing of medical information in scientific research]. Pod red VP Osipova. K: Planeta lyudey; 2002. 200 s. [Russian]
13. Costa AD, Garlid KD. MitoKATP activity in healthy and ischemic hearts. *J Bioenerg Biomembr.* 2009;41(2):123-6. PMID: 19353252. doi: 10.1007/s10863-009-9213-y
14. Olszewska AM, Sieradzan AK, Bednarczyk P, Szewczyk A, Żmijewski MA. Mitochondrial potassium channels: A novel calcitriol target. *Cell Mol Biol Lett.* 2022;27(1):3. PMID: 34979905. PMCID: PMC8903690. doi: 10.1186/s11658-021-00299-0
15. Chua YL, Dufour E, Dassa EP. Stabilization of hypoxia-inducible factor-1 $\alpha$  protein in hypoxia occurs independently of mitochondrial reactive oxygen species production. *J Biol Chem.* 2010;285(41):31277-84. PMID: 20675386. PMCID: PMC2951202. doi: 10.1074/jbc.M110.158485
16. Saldana-Caboverde A, Nissanka N, Garcia S, Lombès A, Diaz F. Hypoxia Promotes Mitochondrial Complex I Abundance via HIF-1 $\alpha$  in Complex III and Complex IV Efficient Cells. *Cells.* 2020;9(10):2197. PMID: 33003371. PMCID: PMC7599499. doi: 10.3390/cells9102197
17. Aalling N, Hageman I, Miskowiak K, Orłowski D, Wegener G, Wortwein G. Erythropoietin prevents the effect of chronic restraint stress on the number of hippocampal CA3c dendritic terminals-relation to expression of genes involved in synaptic plasticity, angiogenesis, inflammation, and oxidative stress in male rats. *J Neurosci Res.* 2018;96(1):103–6. PMID: 28752903. doi: 10.1002/jnr.24107
18. Wagatsuma A. Effect of aging on expression of angiogenesis-related factors in mouse skeletal muscle. *Exp Gerontol.* 2006;41(1):49-54. PMID: 16289925. doi: 10.1016/j.exger.2005.10.003
19. Viscor G, Torrella JR, Corral L, Ricart A, Javierre C, Pages T, et al. Physiological and Biological Responses to Short-Term Intermittent Hypobaric Hypoxia Exposure: From Sports and Mountain Medicine to New Biomedical Applications. *Front Physiol.* 2018;9:814. PMID: 30038574. PMCID: PMC6046402. doi: 10.3389/fphys.2018.00814
20. Moghetti P, Bacchi E, Brangani C, Donà S, Negri C. Metabolic Effects of Exercise. *Front Horm Res.* 2016;47:44–57. PMID: 27348753. doi: 10.1159/000445156
21. Bodine SC. Hibernation: the search for treatments to prevent disuse-induced skeletal muscle atrophy. *Exp Neurol.* 2013;248:129–35. PMID: 23769906. doi: 10.1016/j.expneurol.2013.06.003

UDC 61: 577.1: 31.27.51-796.331.441

### **Approaches to Determination of Mechanisms of Ergogenic Action of Non-Pharmacological Antioxidant Orientations**

**Gunina L. M., Belenichev I. F., Danylchenko S. I., Kozlova O. K.**

**Abstract.** One of the powerful methodologies of ergogenic nature is the use of vibration loads in the mode of «whole body vibration», which in terms of frequency of oscillations mostly coincides with the frequency of oscillations of the microstructures of the body itself.

*The purpose of the study* was to evaluate the effectiveness of the use of non-pharmacological agents with antioxidant nature of action in vibration loads in athletes.

*Materials and methods.* To assess the effectiveness of vibration loads as a non-pharmacological ergogenic agent, we have chosen vibration loads as one of the most characteristic mechanical effects on the human body. The study of the effectiveness and impact mechanisms of vibration loads on the body of athletes using domestic spiral-vortex simulator involved 24 representatives of cyclic sports. They are qualified rowers in kayaks and canoes. These athletes were divided into equal groups (12 people) by the number of group members – control and main. In the dynamics of research, not only changes under the influence of additional vibration loads of indicators of special physical performance were evaluated, but also numerous homeostatic parameters that reflect the severity of oxidative stress, structural and functional state of cell membranes, the degree of endogenous toxicity, intensity of humoral immunity, and also systemic factors that affect the formation of physical performance – the activity of the factor induced by hypoxia and the main angiogenic factor.

Vibration load after the main standard training session was created using a spiral-vortex simulator «PLH-9051» for 30 minutes. The examination of the participants was conducted before starting and at the end of the stage of direct preparation for the competition.

*Results and discussion.* The results of our study have proven that the vibration of the whole body in this mode does not lead to negative changes in the basic standard laboratory parameters of the body. At the same time, it was found that the indicators in the 12-minute test (endurance characteristics) and in the one-minute test (speed characteristics) significantly improved.

As for the metabolic changes that are the basis for such rearrangements of the parameters of special physical performance, it is established that there is no additional activation of oxidative stress during vibration training. Vibration loads, firstly, have a positive effect at the subcellular level – the activity of lipid peroxidation reduces and antioxidant protection improves.

At the same time, positive changes occur in the activation links of angiogenetic characteristics, which are an indirect reflection of the increase in the number of microvessels and the improvement of tissue blood circulation with the increase of oxygen transfer and plastic and energy substrates.

**Conclusion.** Thus, according to the obtained data, vibration loads in the mode of vibration load of the whole body lasting 30 minutes after standard training load are similar to hypoxic training conditions, but without the occurrence of oxidative stress, and can be used for the same purpose – to improve adaptation mechanisms and increase physical performance at the special preparatory stage of athletes specializing in cyclic sports, and in a more general interpretation – in sports with a predominantly aerobic mechanism of energy supply.

**Keywords:** sport, physical performance, vibration loads, metabolic changes, oxidative stress, hypoxia, angiogenesis.

#### **ORCID and contributionship:**

Larisa M. Gunina : 0000-0003-2107-0983 <sup>A,B,D,E,F</sup>

Ihor F. Belenichev : 0000-0001-8085-8637 <sup>E,F</sup>

Svitlana I. Danylchenko : 0000-0001-5312-0231<sup>D,F</sup>

Olena K. Kozlova : 0000-0003-4252-3478 <sup>C,D,F</sup>

---

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis,

C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article,

E – Critical review, F – Final approval of the article

#### **CORRESPONDING AUTHOR**

**Larisa M. Gunina**

National Ukrainian University of Physical Education and Sports,

Olympic Institute

15 A, Goloseevsky Ave., apt. 88, Kyiv 03039, Ukraine

tel. +380996063251, e-mail: gunina.sport@gmail.com

*The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.*

Стаття надійшла 07.02.2022 р.

*Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування*