



МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ В ОЗДОРОВЧІЙ ФІЗИЧНІЙ КУЛЬТУРІ І СПОРТІ

Механизмы стимуляции физической работоспособности спортсменов при индуцирующей тканевую гипоксию вибрационных нагрузках

Ю. Д. Винничук, И. А. Лисняк

Научно-исследовательский институт Национального университета физического воспитания и спорта Украины, Киев, Украина

Резюме. Досліджено ефективність впливу вібраційних навантажень у режимі «вібрація всього тіла» з частотою 50 Гц, амплітудою 30 мм і часом роботи 30 хв після кожного стандартного тренувального заняття протягом трьох тижнів на фізичну працездатність спортсменів-веслувальників. Встановлено, що навантаження в режимі «вібрація всього тіла» викликають виникнення гіпоксії, що підтверджується зростанням вмісту індукованого гіпоксією фактора 1α в сироватці крові спортсменів від $0,89 \pm 0,03$ мл · нг⁻¹ до початку досліджень до $1,31 \pm 0,01$ мл · нг⁻¹ на момент закінчення дослідження, що істотно вище, ніж у контролі. Встановлено, що вібраційні навантаження не сприяють виникненню окисного стресу – відомого ерголітичного фактора, а, навпаки, активують неферментативну ланку власної антиоксидантної системи, що виражається у зростанні вмісту відновленого глутатіону в клітинних мембранах. Показано також зменшення проявів ендогенної токсичності, поліпшення гуморального імунітету, обумовлених зростанням ступеня гіпоксії і, як наслідок, підвищенням показників фізичної працездатності та змагальної діяльності спортсменів.

Ключові слова: фізична працездатність, тканинна гіпоксія, ангіогенез, еритропоез, окисний стрес, клітинні мембрани, гуморальний імунітет.

Summary. Efficiency of vibrational load impact in «the whole body vibration» mode with 50 Hz frequency, 30 mm amplitude and 30 min work after each standard training session during three weeks on physical work capacity of rowers has been studied. It has been revealed that loads in «the whole body vibration» mode induce hypoxia, which is confirmed by increase of hypoxia induced factor 1α content in blood plasma of athletes from $0,89 \pm 0,03$ ml · ng⁻¹ to $1,31 \pm 0,01$ ml · ng⁻¹ before and after examination, respectively. It has been established that vibrational loads do not contribute to oxidative stress, the well-known ergolytic factor. On the contrary, they tend to activate nonenzymatic link of own antioxidant system, which is expressed in increased content of renewed glutathione in cellular membranes. Besides, decrease of endogenic toxicity and improvement of humoral immunity, caused by increase of hypoxia degree and thus, improvement of the indices of athlete physical work capacity and competitive activity have been demonstrated.

Key words: physical work capacity, tissue hypoxia, angiogenesis, erythropoiesis, oxidative stress, cellular membranes, humoral immunity.

Постановка проблеми, связь с темами, программами. Проблема стимуляции физической работоспособности — одна из центральных в системе подготовки спортсменов. Помимо исключительно тренировочных средств

используются фармакологические и нефармакологические эргогенные, т. е. стимулирующие физическую работоспособность факторы [7]. К последним относится и вибрационная нагрузка, поскольку считается самым универсальным и

характерным механическим влиянием среди известных внутренировочных эргогенных средств. Относительно новой техникой повышения эффективности тренировочного процесса является применение вибрации всего тела (WBV — англ. Whole Body Vibration) [21].

Вибрация — физический стресс, вызывающий различные нейровегетативные и соматические реакции в организме человека. Биологические эффекты вибрации могут быть обусловлены как прямым действием на клетки и субклеточные структуры, так и опосредованным — через нейрогуморальные и нейрорефлекторные механизмы [21]. В зависимости от частоты колебаний (от 10–15 до 15–50 Гц) вибрация оказывает разное влияние на организм спортсмена, а именно увеличивает поглощение кислорода тканями, усиливает оксигенацию крови и мышц, локальную и общую циркуляцию крови, а также активирует мышечные ферменты, повышает возбудимость центральной нервной системы и артериальное давление [33]. Исходя из приведенных данных, становится понятным, что физиологическую реакцию биологической системы на внешние раздражители необходимо расценивать как следствие процессов, которые происходят на клеточном уровне.

Известно, что вибротренинг сходен с условиями среднегорья, где важнейшим фактором влияния на организм спортсменов является тканевая гипоксия, возникающая при снижении парциального давления кислорода в окружающей среде [1]. Среднегорная подготовка — чрезвычайно эффективное внутренировочное средство стимуляции физической работоспособности, которое требует адаптации организма к высотной гипоксии. Кроме того, среднегорная подготовка — достаточно дорогостоящий с экономической точки зрения этап подготовки спортсменов. К тому же, в условиях среднегорья одновременно с гипоксией у спортсменов возникает окисный стресс, действие которого носит преимущественно эрголитический характер [19].

На сегодня в научной литературе мало сведений о вибрационно-индуцированных эффектах в спорте высших достижений [7, 21], особенно относительно использования WBV, а исследования механизмов влияния на организм и ускорения протекания восстановительных процессов констатируют главным образом наличие эргогенного действия. В связи с этим представляется целесообразным проведение углубленных медико-биологических исследований с применением современных технологий, которые раскрывают механизмы влияния вибрационных упражнений на физическую работоспособность спортсменов.

Это, с нашей точки зрения, возможно только при условии знания мишеней действия средства и адекватной оценки реакции организма, в частности метаболических изменений, возникающих при использовании предложенного метода стимуляции физической работоспособности.

Работа была поддержана грантом МОН Украины на выполнение НИР (шифр темы 2.23, номер госрегистрации 0111U001731) в лаборатории стимуляции работоспособности и адаптационных реакций в спорте высших достижений НИИ НУФВСУ (зав. лаб. — Л. М. Гунина).

Цель — обоснование механизмов реализации влияния вибрационных нагрузок в режиме «вибрация всего тела» на физическую работоспособность спортсменов.

Методы и организация исследования.

Для моделирования вибрационных нагрузок в режиме WBV был применен спирально-вихревой тренажер (СВТ) «PLH-9051» («НПК ВТУЗ», Украина); частота — 50 Гц, амплитуда — 30 мм, время работы — 30 мин. Движение платформы СВТ осуществлялось в горизонтальной (вращательные движения по часовой стрелке) и вертикальной плоскости (сверху вниз и обратно), создавая толчковый момент.

В исследованиях принимали участие 19 квалифицированных (мастера спорта и кандидаты в мастера спорта) гребцов на байдарках и каноэ, представители циклических видов спорта с преимущественно аэробным механизмом энергообеспечения мышечной деятельности. Средний возраст спортсменов-мужчин составил $20,3 \pm 2,6$ года. Спортсмены методом случайной выборки были разделены на две группы (основная — 10 человек, контрольная — 9). В основную группу вошли спортсмены, которые в течение выбранного срока исследования (21-дневный мезоцикл в структуре этапа непосредственной подготовки к соревнованиям) занимались на СВТ в указанном режиме после каждого стандартного тренировочного занятия, а в контрольную — спортсмены, которые тренировались в таких же условиях, но без дополнительных вибрационных нагрузок. Для сравнения исследования были проведены также у 10 доноров (здоровых нетренированных лиц).

Показатели гематологического гомеостаза оценивали с помощью автоматического анализатора «ERMA PCE210» («ERMA Ltd.», Япония) с использованием соответствующих аутентичных расходных и контрольных материалов. Определяли количество лейкоцитов, тромбоцитов, эритроцитов, показатели содержания общего и внутриэритроцитарного гемоглобина, среднего объема эритроцитов, гематокрит, анизоцитоз.

Для оценки метаболических сдвигов проведены биохимические, иммунологические и иммуноферментные исследования. Последние включали фотометрическое определение с помощью анализатора «Sunrise» («Tescan», Австрия) выраженности гипоксии по уровню в сыворотке крови HIF 1 α с применением соответствующего иммуноферментного набора («Abcam», США) и оценку активности процесса ангиогенеза по содержанию основного ангиогенного фактора (VEGF, англ. – vascular endothelial growth factor) с применением иммуноферментного набора («Sigma», США).

Содержание иммуноглобулинов (Ig) классов А, G, М определяли иммунотурбидиметрическим методом с использованием наборов «Вектор-Бест» (Россия) на биохимическом анализаторе «Humalyzer-3000» («Human», Германия), а циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) – классическим методом V. Naskova и соавт. (1979) [8].

Биохимические исследования прооксидантно-антиоксидантного равновесия (ПАР) в мембранах клеток проводили, используя мембранные оболочки («тени») эритроцитов, полученных при гипоосмотическом гемолизе [10]. ПАР оценивали по активности перекисного окисления липидов (ПОЛ) (в соответствии с изменениями содержания одного из ТБК-активных продуктов – малонового диальдегида (МДА) со спектрофотометрическим определением разницы поглощения при длинах волн 532 и 580 нм [2]) и степени антиоксидантной защиты (по содержанию одного из основных природных антиоксидантов – восстановленного глутатиона (GSH), отражающего активность неферментативного звена антиоксидантной системы), после инкубации эритроцитарной

суспензии с реактивом Элмана при измерении оптической плотности образовавшегося продукта реакции (тионитрофенильные анионы) при длине волны 412 нм [11]. По соотношению содержания МДА к содержанию GSH рассчитывали прооксидантно-антиоксидантный коэффициент ($K_{\text{па}}$) [4].

Степень эндогенной интоксикации определяли по концентрации среднемoleкулярных пептидов (СМП) в сыворотке крови после осаждения белков с помощью 1,0 N раствора трихлоруксусной кислоты при длине волны 254 нм [5]. Спектрофотометрические измерения проводили на спектрофотометре «PU-65» («Becton Dickinson», США).

Результаты статистически обрабатывали с использованием лицензированной компьютерной программы GraphPadInStat (США), выражая средние значения и погрешность как ($\bar{X} \pm S_x$). Соответствие полученных результатов нормальному закону распределения проверяли с помощью критерия Шапиро–Уилки. Для определения статистической значимости различий между показателями выборок использовали критерий Стьюдента [6].

Результаты исследования и их обсуждение. Применение вибрационных нагрузок показало, что в основной группе они сопровождаются активацией эритропоэза, чего не наблюдалось в контрольной группе. Это выражалось в достоверном росте количества эритроцитов, содержания общего и внутриэритроцитарного гемоглобина у спортсменов основной группы (табл. 1). Важным отражением ускорения процесса эритропоэза было также снижение среднего объема эритроцитов, которое указывает на появление в циркуляции значительного количества «молодых» эритроцитов, имеющих меньший, в сравнении с

ТАБЛИЦА 1 – Влияние вибрационных нагрузок на гематологический гомеостаз спортсменов

Показатель ($\bar{x} \pm s_x$)	Здоровые нетренированные лица (n = 10)	Группа спортсменов		
		до начала исследования (n = 19)	контрольная по окончании исследования (n = 9)	основная по окончании исследования (n = 10)
Лейкоциты, $10^9 \cdot \text{л}^{-1}$	4,66 \pm 0,21	4,21 \pm 0,50	8,75 \pm 0,9*	5,26 \pm 0,7* **
Эритроциты, $10^{12} \cdot \text{л}^{-1}$	4,42 \pm 0,25	5,01 \pm 0,23***	5,23 \pm 0,12	6,04 \pm 0,11* **
Гемоглобин, г $\cdot \text{л}^{-1}$	134,3 \pm 5,7	148,2 \pm 4,3	142,6 \pm 3,4	159,7 \pm 2,6* **
Гематокрит, %	44,8 \pm 1,4	47,1 \pm 0,7***	44,6 \pm 0,5*	49,2 \pm 0,4**
Средний объем эритроцита, фл	79,6 \pm 2,1	90,6 \pm 2,4***	88,7 \pm 1,6	82,9 \pm 1,3* **
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	23,6 \pm 0,7	24,5 \pm 0,8	27,6 \pm 0,9*	31,8 \pm 1,1* **
Анизоцитоз, %	13,9 \pm 2,6	14,5 \pm 1,3	18,8 \pm 1,8*	14,2 \pm 0,8**
Тромбоциты, $10^9 \cdot \text{л}^{-1}$	258,0 \pm 56,7	220,0 \pm 13,6	199,0 \pm 21,4	204,0 \pm 14,8

* $p < 0,05$ по сравнению с данными до начала исследования. ** $p < 0,05$ по сравнению с данными в контрольной группе.

*** $p < 0,05$ по сравнению с данными у здоровых нетренированных лиц.

более зрелыми клетками, объем, а также увеличение гематокрита, тесно связанного с ростом количества красных клеток крови.

Отмечено также существенное снижение, по сравнению со значениями в контроле, количества лейкоцитов под влиянием вибрационных нагрузок, что, по нашему мнению, обусловлено ускорением скорости кровообращения и элиминацией из сосудистого русла накопленной во время тренировок молочной кислоты, которая, как известно, приводит к активации лейкопоза некомпенсаторного характера. Достоверных изменений количества тромбоцитов, которые в значительной степени формируют агрегационный потенциал крови и торможение скорости кровообращения [36], в связи со значительными индивидуальными колебаниями показателя, не установлено (см. табл. 1).

Изучение прооксидантно-антиоксидантного баланса показало следующее. Во-первых, применение вибрационных нагрузок после стандартных тренировочных занятий положительно влияет на ПАР, в частности на субклеточном уровне — содержание МДА в мембранах эритроцитов снижается до 75,8 % относительно контрольных значений. Во-вторых, улучшается антиоксидантная защита, характеризующаяся ростом содержания GSH со снижением K_{na} более чем вдвое по сравнению с контролем. Также отмечено улучшение структурно-функционального состояния мембран клеток с существенным снижением их сорбционной способности (табл. 2).

Известно, что указанные процессы могут улучшать функционирование мембраносвязанных ферментов, в частности и трансмембранных, которые обладают каталитической активностью в отношении сопряженных реакций на противоположных сторонах мембраны (прежде всего, окислительно-восстановительные ферменты); участвуют в переносе веществ (АТФазы),

функционировании электрон-транспортных цепей (P450 и цитохром b5), использовании мембранных (фосфолипазы, гликолипазы) и водорастворимых субстратов (ацетилхолинэстеразы, ферменты гидролиза сложных углеводов), образовании мембраносвязанного комплекса для облегчения проникновения субстрата (ферменты цикла Кребса), осуществлении челночных перемещений между цитозолем и мембраной и др. [26, 29]. То есть практически все важнейшие метаболические сдвиги в организме, катализируемые ферментами, зависят от структурно-функционального состояния клеточных мембран, поскольку они выступают как регуляторы активности и сохранения четвертичной структуры энзимов [18, 32]. Таким образом, учитывая данные современной литературы, установленное нами под влиянием вибрационных нагрузок улучшение структурно-функционального состояния мембран является тем первичным звеном, которое отвечает за дальнейшие метаболические превращения, лежащие в основе адаптационных реакций и способствующие росту физической работоспособности.

Данные литературы также показывают, что вибрационные нагрузки, как и условия среднегорья, вызывают в организме положительное влияние на показатели гематологического гомеостаза, в частности, на эритроцитарное звено [30]. Поэтому вполне логично было бы проследить, меняет ли вибрация активность HIF-1 α , который является ведущим фактором активации эндогенного эритропоэтина как в условиях гипоксии, так и в условиях тренировочных нагрузок [24, 25]. Кроме того, опираясь на данные литературы, свидетельствующие о важной роли в формировании метаболического адаптационного потенциала организма спортсмена и роста работоспособности таких факторов, как ангиогенез и состояние иммунитета [3, 28], мы исследовали

ТАБЛИЦА 2 – Влияние вибрационных нагрузок на показатели прооксидантно-антиоксидантного равновесия и структурно-функционального состояния клеточных мембран

Показатель ($\bar{x} \pm S_x$)	Здоровые нетренированные лица (n = 10)	Группы спортсменов		
		До начала исследования (n = 19)	Контрольная по окончании исследования (n = 9)	Основная по окончании исследования (n = 10)
МДА, нмоль · 10 ⁶ эр.	3,67 ± 0,10	5,21 ± 0,12***	5,99 ± 0,13*	4,54 ± 0,09* **
GSH, 10 ⁻¹ ммоль · эр. ⁻¹	1,63 ± 0,11	2,19 ± 0,10***	2,06 ± 0,13	3,66 ± 0,17* **
K_{na} , усл. ед.	2,00 ± 0,02	2,38 ± 0,02***	2,91 ± 0,05* **	1,28 ± 0,04* **
Сорбционная способность эритроцитов, %	21,6 ± 1,4	36,07 ± 2,08***	7,9 ± 2,05*	24,4 ± 1,11* **

* $p < 0,05$ по сравнению с данными до начала исследования. ** $p < 0,05$ по сравнению с данными в контрольной группе.

*** $p < 0,05$ по сравнению с данными у здоровых нетренированных лиц.

ТАБЛИЦА 3 – Влияние гипоксического состояния, ассоциированного с вибрационными нагрузками, на показатели активности ангиогенеза и иммунной защиты спортсменов

Показатель ($\bar{x} \pm S_x$)	Здоровые нетренированные лица (n = 10)	Группа спортсменов		
		До начала исследования (n = 19)	Контрольная по окончании исследования (n = 9)	Основная по окончании исследования (n = 10)
HIF 1 α , нг · мл ⁻¹	0,78 ± 0,04	0,89 ± 0,03***	1,04 ± 0,02*	1,31 ± 0,01* **
VEGF, пг · мл ⁻¹	27,6 ± 11,2	32,7 ± 4,7	43,5 ± 4,9*	62,3 ± 6,8* **
Ig A, мг · л ⁻¹	1685 ± 112	1850 ± 98***	1720 ± 101	1940 ± 87
Ig G, мг · л ⁻¹	11,4 ± 4,2	16,2 ± 2,8	12,1 ± 2,0	18,6 ± 1,9**
Ig M, мг · л ⁻¹	1496 ± 134	1786 ± 101	1650 ± 112	1788 ± 96
ЦИК, усл. ед.	25,7 ± 4,7	56,7 ± 4,3***	66,5 ± 4,8*	50,6 ± 4,9**

* $p < 0,05$ по сравнению с данными до начала исследования. ** $p < 0,05$ по сравнению с данными в контрольной группе.

*** $p < 0,05$ по сравнению с данными у здоровых нетренированных лиц.

содержание в сыворотке крови фактора роста эндотелия сосудов (VEGF), иммуноглобулинов классов А, М, G и циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК).

Установлено, что применение вибрационных нагрузок по указанной технологии сопровождается значительным ростом концентрации VEGF в сыворотке крови спортсменов по окончании мезоцикла, что свидетельствует об активации процессов ангиогенеза. Вместе с тем отмечены разнонаправленные изменения показателей гуморального иммунитета (достоверное повышение содержания IgG, который отвечает за наличие длительного гуморального иммунитета, тенденция к повышению IgA и IgM, обеспечивающих местный и первичный иммунитет в ответ на острую инфекцию, снижение содержания ЦИК), отражающие развитие воспалительных процессов в организме (табл. 3).

Полученные данные свидетельствуют, что активация процессов ангиогенеза и эритропоэза в условиях WBV происходит параллельно. Физиологический ангиогенез, который отражает скорость образования и роста кровеносных сосудов, прежде всего, микроциркуляторного русла, активируется в условиях тканевой гипоксии [34], отражает ускорение приспособительных реакций к возрастающей нагрузке и сопровождается увеличением количества эритроцитов [24], например, во время тренировок в условиях среднегорья [16].

При изучении выраженности эндогенной интоксикации, присущей физической нагрузке [20], показано, что содержание ее общепринятых маркеров (среднемолекулярные пептиды) уменьшается у спортсменов основной группы по окончании курса вибрационных тренировок (рис. 1), что говорит о снижении степени эндотоксикоза под влиянием WBV. Об уменьшении

токсического воздействия физических нагрузок свидетельствует и снижение содержания ЦИК в сыворотке крови, что зафиксировано в наших исследованиях, которое можно объяснить процессом элиминации из организма спортсменов токсичных веществ [14].

Как уже было отмечено, при использовании вибрационных нагрузок происходит активация эритропоэза, ускоряется рост новых кровеносных сосудов, улучшаются кислородтранспортная функция крови путем активации стволовых эритроидных клеток, а также иммунная защита, что характерно для гипоксического состояния [31] без возникновения дополнительного окисного стресса, а, наоборот, при снижении его выраженности, что согласуется с последними данными научной литературы [15]. Поскольку эти изменения зависят от выраженности гипоксии, мы проанализировали динамику содержания HIF-1 α в сыворотке крови спортсменов. Установлено, что, по сравнению с нетренированными лицами,

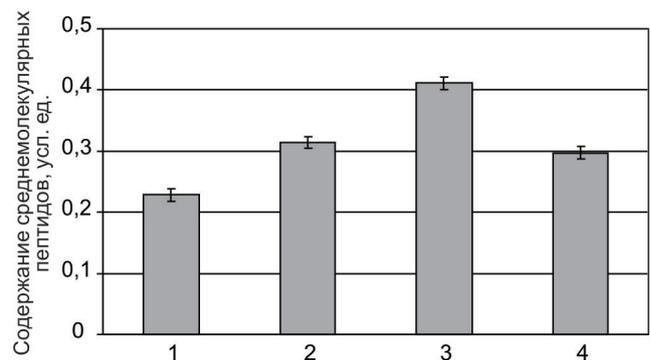


Рисунок 1 – Влияние вибрационных нагрузок на выраженность эндогенной интоксикации у спортсменов в динамике исследования:

1 – здоровые нетренированные лица (доноры); 2 – спортсмены до начала исследования; 3 – спортсмены контрольной группы по окончании исследования; 4 – спортсмены основной группы по окончании исследования

содержание HIF-1 α у спортсменов до начала исследований выше на 14,0 % (см. табл. 3). По окончании исследований наблюдается дальнейшее увеличение концентрации HIF-1 α — на 16,8 % в контрольной группе и на 47,2 % — в основной. То есть вибрационные нагрузки вызывают существенный рост выраженности гипоксии, которая накладывается на изменения, обусловленные чисто тренировочным процессом. Все описанные выше изменения гомеостатических показателей являются гипоксия-ассоциированными, что подтверждается данным литературы [23, 24, 34], и прямо или косвенно влияют на стимуляцию физической работоспособности.

Прямое влияние WBV на физическую работоспособность можно объяснить нормализацией ПАР на уровне клеточных мембран эритроцитов, поскольку это сопровождается улучшением кислородтранспортной функции крови [17]. Активизация собственной антиоксидантной системы приводит к улучшению количественной и качественной характеристик клеточных мембран, что опосредованно, через снижение эндогенной токсичности и оптимизацию работы многочисленных мембраносвязанных ферментов, стимулирует приспособительные реакции организма к физическим нагрузкам. Следует заметить, что снижение эндогенной токсичности является фактором нормализации иммунной реактивности, сократительной функции миокарда, функционального состояния альвеолярного матрикса [9, 13] и сопровождается увеличением показателей, характеризующих резервы респираторной системы, что также способствует стимуляции физической работоспособности спортсменов. Полученные в нашем исследовании данные об улучшении функционирования гуморального звена иммунитета ассоциируются с ростом выраженности тканевой гипоксии и совпадают с результатами других исследователей [12].

Дополнительным фактором роста физической работоспособности является антиоксидантное воздействие вибрационных нагрузок в режиме WBV, поскольку подавляющее число исследователей считает, что развитие окисного стресса отрицательно сказывается на эргогенных свойствах организма [22, 27, 35]. Очень важно то, что возникающая тканевая гипоксия при вибрационных нагрузках, в отличие от ранее устоявшихся представлений, на сегодня не считается обязательно ассоциированной с окисным стрессом [23], что наблюдается и результатами нашего исследования.

Подтверждением положительного влияния вибрационных нагрузок на физическую

работоспособность спортсменов при ее моделировании на гребном тренажере «Concept» является улучшение показателей соревновательной деятельности. Так, при применении WBV у членов основной группы время прохождения смоделированной соревновательной дистанции (500 м) уменьшается в среднем на 26,28 %. Положительные изменения отмечены и в значении средней мощности при прохождении соревновательной дистанции — с $193,06 \pm 0,07$ до $195,62 \pm 0,06$ Вт ($p < 0,05$). Это отражает общую картину улучшения параметров соревновательной деятельности спортсменов, специализирующихся в гребле на байдарках и каноэ, под влиянием вибрационных нагрузок в режиме WBV.

Таким образом, вибрационные нагрузки в режиме WBV аналогичны гипоксическим условиям тренировок, но без возникновения окисного стресса (как это наблюдается в среднегорье), и могут использоваться с той же целью — для улучшения адаптационных механизмов и роста физической работоспособности спортсменов, специализирующихся в циклических видах спорта, а в более общей трактовке — в видах спорта с преимущественно аэробным механизмом энергообеспечения.

Выводы

1. Понимание механизмов развития эргогенного действия вибрационных нагрузок, относящихся к нефармакологическим эргогенным средствам, должно базироваться на оценке гомеостатических факторов стимуляции физической работоспособности спортсмена, ассоциированных с ростом выраженности гипоксического состояния.

2. Вибрационные нагрузки в режиме WBV стимулируют эритропоэз, что сопровождается улучшением кислородтранспортного звена крови, а именно, ростом количества эритроцитов и содержания гемоглобина у спортсменов.

3. Вибрационные нагрузки активируют процессы ангиогенеза, улучшают антиоксидантную (нормализация ПАР в мембранах) и иммунную защиту (снижение содержания ЦИК) в организме спортсмена, а также уменьшают проявления синдрома эндогенной интоксикации.

4. Вибрационные нагрузки в режиме WBV не вызывают возникновения окисного стресса, что является дополнительным положительным фактором стимуляции физической работоспособности спортсменов во время вибротренинга с использованием технологии «вибрация всего тела».

Перспективы исследования связаны изучением механизмов влияния подобных вибрационных нагрузок на физическую работоспособность представителей других групп видов спорта с целью обоснования универсальности методологии.

Литература

1. Байковский Ю. В. Факторы, определяющие тренировку спортсмена в условиях высокогорья и среднегорья / Ю. В. Байковский. — М.: ТВТ Дивизион, 2010. — 245 с.
2. Банкова В. В. Способ оценки патологических изменений плазматической мембраны у детей при различных заболеваниях / В. В. Банкова // Патол. физиол. и exper. терапия. — 1987. — № 3. — С. 78–81.
3. Гунина Л. М. Физиологический ангиогенез как фактор адаптации спортсменов к физическим нагрузкам с различным механизмом энергообеспечения / Л. М. Гунина, И. А. Лисняк, В. О. Бурмак // Вестн. спорт. науки (РФ). — 2013. — № 3. — С. 34–38.
4. Гунина Л. М. Зміни показників крові та прооксидантно-антиоксидантного балансу в мембранах еритроцитів під впливом препарату «Ритмокор» при інтенсивному фізичному навантаженні / Л. М. Гунина, С. А. Олійник, С. В. Іванов // Мед. хімія. — 2007. — Т. 9, № 1. — С. 95–99.
5. Кишкун А. А. Значение средних молекул в оценке уровня эндогенной интоксикации / А. А. Кишкун, А. С. Кудинова, А. Д. Офитова, Р. Б. Мишурина // Воен.-мед. журн. — 1990. — № 2. — С. 41–44.
6. Ланг Т. Как описывать статистику в медицине: рук. для авт., ред. и рец. / Т. Ланг, М. Сесик. — М.: Практ. медицина, 2011. — 467 с.
7. Михеев А. А. Теория и практика вибрационной тренировки в спорте / А. А. Михеев. — М.: Сов. спорт, 2011. — 567 с.
8. Олишевский С. В. Роль иммунной системы в поддержании работоспособности и адаптационных возможностей организма спортсменов / С. В. Олишевский // Спорт. медицина. — 2010. — № 1–2. — С. 47–56.
9. Пузhevский А. С. Кардиодепрессивные агенты в крови ожоговых больных и оценка эффективности их элиминации / А. С. Пузhevский, Р. И. Лившиц // Анестезиол. и реаниматол. — 1990. — № 1. — С. 57–59.
10. Семко Г. А. Структурно-функциональные изменения мембран и внешних примембранных слоев эритроцитов при гиперэпидермопозе / Г. А. Семко // Укр. біохім. журн. — 1998. — Т. 70. — С. 113–118.
11. Швец Н. И. Возрастные особенности изменений в системе глутатиона в сердце крыс при иммобилизационном стрессе / Н. И. Швец // Укр. біохім. журн. — 2008. — Т. 80, № 6. — С. 74–78.
12. Abellan R. Intermittent hypoxia exposure in a hypobaric chamber and erythropoietin abuse interpretation / R. Abellan, R. Ventura, A. Remacha [et al.] // J. Sports Sci. — 2007. — Vol. 25. — P. 1241–1250.
13. Anan I. Investigation of AGE, their receptor and NF-kappaB activation and apoptosis in patients with ATTR and Gelsolin amyloidosis / I. Anan, S. Kiuru-Enari, K. Obayashi [et al.] // Histol & Histopathol. — 2010. — Vol. 25, N 6. — P. 691–699.
14. Ariza A. C. The succinate receptor as a novel therapeutic target for oxidative and metabolic stress-related conditions / A. C. Ariza, P. M. Deen, J. H. Robben // Front. Endocrinol. (Lausanne). — 2012. — N 3. — P. 22–25.
15. Ballmann C. Exercise-induced oxidative stress and hypoxic exercise recovery / C. Ballmann, G. McGinnis, B. Peters [et al.] // Eur. J. Appl. Physiol. — 2014. — Vol. 114, N 4. — P. 725–33. doi: 10.1007/s00421-013-2806-5.
16. Bärtsch P. General introduction to altitude adaptation and mountain sickness (a review) / P. Bärtsch, B. Saltin // Scand. J. Med. Sci. Sports. — 2008. — Suppl 1. — P. 1–10.
17. Bell E. L. Mitochondrial oxygen sensing: regulation of hypoxia-inducible factor by mitochondrial generated

References

1. Baykovsky Y. V. Factors determining athlete training under conditions of high and middle altitude / Y. V. Baykovsky. — Moscow: TVT Division; 2010. — 245 p.
2. Bankova V. V. Way of estimating pathological changes of cell membrane in children with different diseases // V. V. Bankova // Patol. fiziol. i exper. terapiya. — 1987. — N 3. — P. 78–81.
3. Gunina L. M. Physiological angiogenesis as the factor of athlete adaptation to physical loads with different mechanism of energy supply / L. M. Gunina, I. A. Lisniak, V. O. Burmak // Vestnik sport. nauky (RF). — 2013. — N 3. — P. 34–38.
4. Gunina L. M. Changes of blood indices and prooxidant-antioxidant balance in membrane erythrocytes under the influence of «Ritmokor» preparation during intensive physical loads / L. M. Gunina, S. A. Oliynyk, S. V. Ivanov // Med. khimii. — 2007. — Vol. 9, N 1. — P. 95–99.
5. Kishkun A. A. Significance of middle molecules in estimation of the level of endogenic intoxication / A. A. Kishkun, A. S. Kudinova, A. D. Ofitova, R. B. Mishurina // Voen.-med. zhurn. — 1990. — N 2. — P. 41–44.
6. Lung T. How to depict statistics in medicine: guide for authors, editors and readers / T. Lung, M. Sesik. — Moscow: Prakt. meditsina, 2011. — 467 p.
7. Mikheyev A. A. Theory and practice of vibrational training in sport / A. A. Mikheyev. — Moscow: Sov. sport, 2011. — 567 p.
8. Olishovsky S. V. The role of immune system in maintenance of work capacity and adaptation capacities of athlete body / S. V. Olishovsky // Sport. meditsina. — 2010. — N 1–2. — P. 47–56.
9. Puzhevsky A. S. Cardiodepressive agents in blood of burn patients and estimation of their elimination efficiency / A. S. Puzhevsky, R. I. Livshits // Anesteziol. i reanimatol. — 1990. — N 1. — P. 57–59.
10. Semko G. A. Structural and functional changes of membranes and external perimembrane layers of erythrocytes during hyperepidermopoesis / G. A. Semko // Ukr. biohim. zhurn. — 1998. — Vol. 70. — P. 113–118.
11. Shvets N. I. Age peculiarities of changes in the system of glutathione in the heart of rats during immobilization stress / N. I. Shvets // Ukr. biohim. zhurn. — 2008. — Vol. 80, N 6. — P. 74–78.
12. Abellan R. Intermittent hypoxia exposure in a hypobaric chamber and erythropoietin abuse interpretation / R. Abellan, R. Ventura, A. Remacha [et al.] // J. Sports Sci. — 2007. — Vol. 25. — P. 1241–1250.
13. Anan I. Investigation of AGE, their receptor and NF-kappaB activation and apoptosis in patients with ATTR and Gelsolin amyloidosis / I. Anan, S. Kiuru-Enari, K. Obayashi [et al.] // Histol & Histopathol. — 2010. — Vol. 25, N 6. — P. 691–699.
14. Ariza A. C. The succinate receptor as a novel therapeutic target for oxidative and metabolic stress-related conditions / A. C. Ariza, P. M. Deen, J. H. Robben // Front. Endocrinol. (Lausanne). — 2012. — N 3. — P. 22–25.
15. Ballmann C. Exercise-induced oxidative stress and hypoxic exercise recovery / C. Ballmann, G. McGinnis, B. Peters [et al.] // Eur. J. Appl. Physiol. — 2014. — Vol. 114, N 4. — P. 725–33. doi: 10.1007/s00421-013-2806-5.
16. Bärtsch P. General introduction to altitude adaptation and mountain sickness (a review) / P. Bärtsch, B. Saltin // Scand. J. Med. Sci. Sports. — 2008. — Suppl 1. — P. 1–10.
17. Bell E. L. Mitochondrial oxygen sensing: regulation of hypoxia-inducible factor by mitochondrial generated reac-

reactive oxygen species / E. L. Bell, N. S. Chandel // *Essays Biochem.* — 2007. — Vol. 43. — P. 17–27.

18. *Chai Y.* The secreted oligomeric form of α -synuclein affects multiple steps of membrane trafficking / Y. Chai, D. Kim, J. Park // *FEBS Lett.* 2013. — Vol. 587, N 5. — P. 452–459. doi: 10.1016/j.febslet.2013.01.008.

19. *Földes-Papp Z.* Oxidative stress caused by acute and chronic exposition to altitude / Z. Földes-Papp, W. Domej, U. Demel, G.P. Tilz // *Wien Med. Wochenschr.* — 2005. — Vol. 155, N 7–8. — P. 136–142. PMID: 24482580.

20. *Goussetis E.* Spartathlon, a 246 kilometer foot race: effects of acute inflammation induced by prolonged exercise on circulating progenitor reparative cells / E. Goussetis, A. Spiropoulos, M. Tsironi // *Blood Cells Mol. Dis.* — 2009. — Vol. 4, N 2(3). — P. 294–299.

21. *Issurin V. B.* Vibrations and their applications in sport: a review / V. B. Issurin // *J. Sports Med. Phys. Fitness.* — 2005. — Vol. 45. — P. 324–336.

22. *Michailidis Y.* Sampling time is crucial for measurement of aerobic exercise-induced oxidative stress / Y. Michailidis, A. Jamurtas, M. Nikolaidis // *Med. Sci. Sports Exerc.* — 2007. — Vol. 39, N 7. — P. 1107–1113.

23. *Miller L. E.* Blood oxidative-stress markers during a high-altitude trek / L. E. Miller, G. R. McGinnis, B. Kliszczewicz [et al.] // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* — 2013. — Vol. 23, N 1. — P. 65–72.

24. *Mounier R.* Leukocyte's Hif-1 expression and training-induced erythropoietic response in swimmers / R. Mounier, V. Pialoux, A. Cayre [et al.] // *Med. Sci Sports Exerc.* — 2006. — Vol. 38, N 8. — P. 1410–1417. PMID: 16888453.

25. *Mounier R.* Effects of acute hypoxia tests on blood markers in high-level endurance athletes / R. Mounier, V. Pialoux, L. Schmitt [et al.] // *Eur. J. Appl. Physiol.* — 2009. — Vol. 106, N 5. — P. 713–720. doi:10.1007/s00421-009-1072-z. PMID: 19430946.

26. *Nikitin V. P.* The selective effect of a protein kinase C inhibitor on synaptic plasticity in defensive behavior command neurons during development of sensitization in the snail / V. P. Nikitin, S. A. Kozyrev // *Neurosci. Behav. Physiol.* — 2004. — Vol. 34, N 5. — P. 423–430.

27. *Nikolaidis M.* The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: magnitude and time-course considerations / M. Nikolaidis, A. Jamurtas, V. Paschalis // *Sports Med.* 2008. — Vol. 38, N 7. — P. 579–606.

28. *Palazyn A.* Molecular pathways: hypoxia response in immune cells fighting or promoting cancer / A. Palazyn, J. Aragongs, A. Morales-Kastresana // *Clin. Cancer Res.* — 2012. — Vol. 18, N 5. — P. 1207–1213.

29. *Panofen F.* Small conductance calcium-activated potassium channels of trout CNS: molecular structure, developmental expression, and partial biophysical characterization / F. Panofen, T. Piwowarski, G. Jeserich // *Brain Res. Mol. Brain Res.* — 2002. — Vol. 101, N 1–2. — P. 1–11.

30. *Risso A.* Red blood cell senescence and neocytolysis in humans after high altitude acclimatization / A. Risso, M. Turello, F. Biffoni, G. Antonutto // *Blood Cells Mol. Dis.* — 2007. — Vol. 38, N 2. — P. 83–92. PMID: 17188915.

31. *Serebrovskaya T. V.* Intermittent hypoxia mobilizes hematopoietic progenitors and augments cellular and humoral elements of innate immunity in adult men / T. V. Serebrovskaya, I. S. Nikolsky, V. V. Nikolskaya // *High Alt. Med. Biol.* — 2011. — Vol. 12, N 3. — P. 243–252. doi:10.1089/ham.2010.1086.

32. *Sircar R.* Structure and activity of the flagellar rotor protein FliY: a member of the CheC phosphatase family / R. Sircar, A. Greenswag, A. Bilwes // *Biol. Chem.* —

tive oxygen species / E. L. Bell, N. S. Chandel // *Essays Biochem.* — 2007. — Vol. 43. — P. 17–27.

18. *Chai Y.* The secreted oligomeric form of α -synuclein affects multiple steps of membrane trafficking / Y. Chai, D. Kim, J. Park // *FEBS Lett.* 2013. — Vol. 587, N 5. — P. 452–459. doi: 10.1016/j.febslet.2013.01.008.

19. *Földes-Papp Z.* Oxidative stress caused by acute and chronic exposition to altitude / Z. Földes-Papp, W. Domej, U. Demel, G.P. Tilz // *Wien Med. Wochenschr.* — 2005. — Vol. 155, N 7–8. — P. 136–142. PMID: 24482580.

20. *Goussetis E.* Spartathlon, a 246 kilometer foot race: effects of acute inflammation induced by prolonged exercise on circulating progenitor reparative cells / E. Goussetis, A. Spiropoulos, M. Tsironi // *Blood Cells Mol. Dis.* — 2009. — Vol. 4, N 2(3). — P. 294–299.

21. *Issurin V. B.* Vibrations and their applications in sport: a review / V. B. Issurin // *J. Sports Med. Phys. Fitness.* — 2005. — Vol. 45. — P. 324–336.

22. *Michailidis Y.* Sampling time is crucial for measurement of aerobic exercise-induced oxidative stress / Y. Michailidis, A. Jamurtas, M. Nikolaidis // *Med. Sci. Sports Exerc.* — 2007. — Vol. 39, N 7. — P. 1107–1113.

23. *Miller L. E.* Blood oxidative-stress markers during a high-altitude trek / L. E. Miller, G. R. McGinnis, B. Kliszczewicz [et al.] // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* — 2013. — Vol. 23, N 1. — P. 65–72.

24. *Mounier R.* Leukocyte's Hif-1 expression and training-induced erythropoietic response in swimmers / R. Mounier, V. Pialoux, A. Cayre [et al.] // *Med. Sci Sports Exerc.* — 2006. — Vol. 38, N 8. — P. 1410–1417. PMID: 16888453.

25. *Mounier R.* Effects of acute hypoxia tests on blood markers in high-level endurance athletes / R. Mounier, V. Pialoux, L. Schmitt [et al.] // *Eur. J. Appl. Physiol.* — 2009. — Vol. 106, N 5. — P. 713–720. doi:10.1007/s00421-009-1072-z. PMID: 19430946.

26. *Nikitin V. P.* The selective effect of a protein kinase C inhibitor on synaptic plasticity in defensive behavior command neurons during development of sensitization in the snail / V. P. Nikitin, S. A. Kozyrev // *Neurosci. Behav. Physiol.* — 2004. — Vol. 34, N 5. — P. 423–430.

27. *Nikolaidis M.* The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: magnitude and time-course considerations / M. Nikolaidis, A. Jamurtas, V. Paschalis // *Sports Med.* 2008. — Vol. 38, N 7. — P. 579–606.

28. *Palazyn A.* Molecular pathways: hypoxia response in immune cells fighting or promoting cancer / A. Palazyn, J. Aragongs, A. Morales-Kastresana // *Clin. Cancer Res.* — 2012. — Vol. 18, N 5. — P. 1207–1213.

29. *Panofen F.* Small conductance calcium-activated potassium channels of trout CNS: molecular structure, developmental expression, and partial biophysical characterization / F. Panofen, T. Piwowarski, G. Jeserich // *Brain Res. Mol. Brain Res.* — 2002. — Vol. 101, N 1–2. — P. 1–11.

30. *Risso A.* Red blood cell senescence and neocytolysis in humans after high altitude acclimatization / A. Risso, M. Turello, F. Biffoni, G. Antonutto // *Blood Cells Mol. Dis.* — 2007. — Vol. 38, N 2. — P. 83–92. PMID: 17188915.

31. *Serebrovskaya T. V.* Intermittent hypoxia mobilizes hematopoietic progenitors and augments cellular and humoral elements of innate immunity in adult men / T. V. Serebrovskaya, I. S. Nikolsky, V. V. Nikolskaya // *High Alt. Med. Biol.* — 2011. — Vol. 12, N 3. — P. 243–252. doi:10.1089/ham.2010.1086.

32. *Sircar R.* Structure and activity of the flagellar rotor protein FliY: a member of the CheC phosphatase family / R. Sircar, A. Greenswag, A. Bilwes // *Biol. Chem.* —

2013. — Vol. 288, N 19. — P. 13493–13502. doi:10.1074/jbc.M112.445171.

33. Vorobieva V. V. Vibration model for hypoxic type of cell metabolism evaluated on rabbit cardiomyocytes / V V. Vorobieva // Bull. Exp. Biol. Med. — 2009. — Vol. 147, N 6. — P. 768–771.

34. Wagatsuma A. Effect of aging on expression of angiogenesis-related factors in mouse skeletal muscle / A. Wagatsuma // Exp. Gerontol. — 2006. — Vol. 41, N 1. — P. 49–54.

35. Wang J.-S. Effects of exercise intensity on lymphocyte apoptosis induced by oxidative stress in men / J.-S. Wang, Y.-H. Huang // Eur. J. Appl. Physiol. — 2005. — Vol. 95. — P. 290–291.

36. Watts T. Comparative rheology of the adhesion of platelets and leukocytes from flowing blood: why are platelets so small? / T. Watts, M. Barigou, G. Nash // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. — 2013. — Vol. 304, N 11. — P. H1483–94. doi:10.1152/ajpheart.00881.2012. PMID: 23585130.

2013. — V. 288, N 19. — P. 13493–13502. doi:10.1074/jbc.M112.445171.

33. Vorobieva V. V. Vibration model for hypoxic type of cell metabolism evaluated on rabbit cardiomyocytes / V V. Vorobieva // Bull. Exp. Biol. Med. — 2009. — Vol. 147, N 6. — P. 768–771.

34. Wagatsuma A. Effect of aging on expression of angiogenesis-related factors in mouse skeletal muscle / A. Wagatsuma // Exp. Gerontol. — 2006. — Vol. 41, N 1. — P. 49–54.

35. Wang J.-S. Effects of exercise intensity on lymphocyte apoptosis induced by oxidative stress in men / J.-S. Wang, Y.-H. Huang // Eur. J. Appl. Physiol. — 2005. — Vol. 95. — P. 290–291.

36. Watts T. Comparative rheology of the adhesion of platelets and leukocytes from flowing blood: why are platelets so small? / T. Watts, M. Barigou, G. Nash // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. — 2013. — Vol. 304, N 11. — P. H1483–94. doi:10.1152/ajpheart.00881.2012. PMID: 23585130.

email: vinnichukju@gmail.com
lisnyak_j@ukr.net

Надійшла 16.09.2014