

УДК: 615.835.3:159.944.4-057.875

DOI: 10.29039/2224-6444-2025-15-3-5-12

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ АДАПТАЦИИ К ИНТЕРВАЛЬНОЙ ГИПОКСИИ СТУДЕНТОВ СТАРШИХ КУРСОВ В УСЛОВИЯХ АКАДЕМИЧЕСКОГО СТРЕССА

Борукаева И. Х., Кипкеева Т. Б., Шокуева А. Г., Абазова З. Х., Шхажумов К. Ю., Моллов А. А., Шавалева Ф. В., Шерхов З. Х.

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», 360004, ул. Чернышевского, 173, Нальчик, Россия.

Для корреспонденции: Борукаева Ирина Хасанбиевна, доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой нормальной и патологической физиологии медицинской академии Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х. М. Бербекова, e-mail: irborukaeva@yandex.ru

For correspondence: Irina K. Borukaeva, MD, Associate Professor Head of the Department of Normal and Pathological Human Physiology, Medical Academy, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, e-mail: irborukaeva@yandex.ru

Information about authors:

Borukaeva I. Kh., <https://orcid.org/0000-0003-1180-228X>

Kipkeeva T. B., <https://orcid.org/0000-0002-0285-0995>

Shokueva A. G., <https://orcid.org/0000-0003-3540-119X>

Abazova Z. Kh., <https://orcid.org/0000-0003-2827-5068>

Shkhagumov K. Y., <https://orcid.org/0000-0002-3671-481X>

Molov A. A., <https://orcid.org/0000-0002-9920-5289>

Shavaeva F. V., <https://orcid.org/0000-0002-1767-9975>

Sherhov Z. Kh., <https://orcid.org/0009-0009-9083-9187>

РЕЗЮМЕ

Современная система высшего медицинского образования предъявляет высокие требования к адапционным возможностям студентов, сталкивающихся с длительным воздействием академического стресса. Хронический стресс приводит к нарушению физиологических и когнитивных функций, повышая риск дезадаптации. Целью данного исследования было изучение эффективности нормобарической интервальной гипоксической тренировки (НИГТ) как метода повышения стрессоустойчивости и адаптационного резерва у студентов-медиков в условиях моделируемого академического стресса. Материал и методы. В исследовании приняли участие 80 студентов, рандомизированных на основную и контрольную группы. В течение 10 дней обе группы подвергались одинаковой стресс-нагрузке, включающей теоретические и практические модули. Основная группа проходила курс НИГТ, включавший 20 процедур чередующегося дыхания гипоксическим (11,0% O₂) и нормоксическим воздухом (20,9% O₂). Оценка эффективности включала биохимический (уровни ТТГ, Т3, Т4, кортизола, лактата, ЛДГ, уровня глюкозы, HIF-1α в крови), гематологический (количество эритроцитов, гемоглобина, гематокрита, MCV, MCHC, цветовой показатель) и психофизиологический мониторинг (вариабельность сердечного ритма, тест Струпа и шкалу PSS-10) до и после гипоксической тренировки. Результаты. Отмечалось достоверное снижение уровня кортизола, улучшение тиреоидного профиля, активация гипоксических сигнальных путей (HIF-1α, эритропоэтин), рост количества эритроцитов, гемоглобина и гематокрита, а также нормализация вегетативного баланса. Психофизиологические тесты продемонстрировали улучшение когнитивных функций и снижение субъективного стресса. Заключение. Полученные данные подтверждают эффективность НИГТ как физиологического и когнитивно-психологического метода адаптации. Данная методика является перспективным методом для профилактики академического стресса и повышения адаптационного потенциала организма студентов медицинских вузов.

Ключевые слова: нормобарическая интервальная гипоксическая тренировка, стресс, адаптация, диагностические маркеры.

DIAGNOSTIC MARKERS OF ADAPTATION TO INTERVAL HYPOXIA OF SENIOR STUDENT UNDER ACADEMIC STRESS

Borukaeva I. Kh., Kipkeeva T. B., Shokueva A. G., Abazova Z. Kh., Shkhagumov K. Y., Molov A. A., Shavaeva F. V., Sherhov Z. Kh.

Kabardino-Balkar State University named after H.M. Berbekova, Nalchik, Russia

SUMMARY

The modern system of higher medical education imposes high demands on students' adaptive capacities, as they are exposed to prolonged academic stress. Chronic stress leads to disruptions in physiological and cognitive functions, increasing the risk of maladaptation. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of normobaric interval hypoxic training (NIHT) as a method for enhancing stress resilience and adaptive reserves in medical students under simulated academic stress conditions. Material and methods. The study involved 80 medical students, randomized into a main group (receiving NIHT) and a control group. Both groups were subjected to identical stress loads over 10 days, including theoretical and practical modules. The main group underwent a course of NIHT consisting of 20 sessions of

alternating breathing with hypoxic (11.0% O₂) and normoxic (20.9% O₂) air. The effectiveness of the intervention was assessed via biochemical markers (TSH, T3, T4, cortisol, lactate, LDH, glucose, HIF-1α), hematological parameters (red blood cell count, hemoglobin, hematocrit, MCV, MCHC, color index), and psychophysiological monitoring (heart rate variability, Stroop test, and PSS-10 scale) before and after the intervention. Results. Statistically significant reductions in cortisol levels, improvement of thyroid hormone profiles, activation of hypoxic signaling pathways (HIF-1α, erythropoietin), increases in red blood cell count, hemoglobin, and hematocrit, and normalization of autonomic nervous system balance were observed. Psychophysiological testing revealed improved cognitive function and decreased subjective stress levels. Conclusion. The findings confirm the effectiveness of NIHT as both a physiological and cognitive-psychological adaptive intervention. This method shows promise as a preventive strategy against academic stress and for enhancing the adaptive capacity of medical students.

Key words: normobaric interval hypoxic training, stress, adaptation, diagnostic markers.

Современная модель системы высшего медицинского образования, на сегодняшний день, предъявляет высокие требования к адаптационным возможностям студентов-медиков, сталкивающихся, длительное время с многофакторным академическим стрессом, являющимся модератором долговременного психофизиологического напряжения, приобретающего хроническую форму. Стресс-факторы приводят к истощению компенсаторных механизмов организма, увеличивая риск развития дезадаптации, нарушения в работе сердечно-сосудистой, дыхательной, иммунной, эндокринной систем, ухудшение когнитивных функций мозга. В свете этого, актуальны методы повышения стрессоустойчивости и оптимизации адаптационных процессов.

Идея о связи адаптации и стрессоустойчивости, обсуждалась в научных трудах многих исследователей, в том числе Абабкова В.А., обративших внимание на этот научный аспект [1]. В середине прошлого столетия, Сиротиним Н.Н. был предложен ступенчатый метод высокогорной адаптации для повышения резистентности организма к гипоксии [2]. В исследовании механизмов адаптации и дезадаптации человека особое внимание уделяется экзогенной гипоксии как наиболее значимому фактору внешней среды. Тема маркеров устойчивости человека к гипоксии остается открытой и регулярно освещаемой в физиологических и патофизиологических работах [3]. Одним из перспективных направлений в медицине, служит нормобарическая интервальная гипоксическая тренировка (НИГТ), основанная на чередовании дыхания воздуха со сниженным содержанием кислорода и обычным воздухом, что увеличивает функциональные резервы организма и его стрессоустойчивость [4]. Данный метод активирует генетически заложенные механизмы адаптации, включая усиление антиоксидантной защиты, стимуляцию митохондриального биогенеза и повышение эффективности кислородтранспортной системы.

В основе методики «дозированной нормобарической гипоксической стимуляции» лежит сочетание трех важных и эффективных реабили-

тационных компонентов: 1) интервальное дозирование – обеспечивает эффект тренируемости; 2) собственное воздействие – при НИГТ активируется система доставки кислорода, повышается уровень гемоглобина в крови, увеличивается его связывающая и транспортная способность, улучшается диссоциация оксигемоглобина, а также возрастает число капилляров на единицу объема ткани; 3) саногенетический эффект - организм приспосабливается к новым условиям и быстро компенсирует нарушения на всех уровнях, что приводит к быстрому восстановлению и увеличению устойчивости организма [5].

Разработка системы диагностических маркеров, обобщающих физиологические, биохимические и психические параметры в ходе НИГТ позволит выявить индивидуальные паттерны адаптации и дезадаптации и определить лимитальные значения стрессовой нагрузки, при которых гипоксические тренировки демонстрируют максимальную эффективность.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 80 студентов-медиков медицинской академии Кабардино-Балкарского государственного университета, средний возраст составил 22,37±0,42 года. Отбор производился по следующим критериям: отсутствие острых инфекционных заболеваний, соматических заболеваний в острой фазе, психических заболеваний, индивидуальной непереносимости кислородной недостаточности.

Участники были рандомизированы на две группы: основную (n=40), проходившую курс НИГТ и контрольную (n=40), которая не проходила гипоксическую тренировку. Группы были сопоставимы по возрасту, полу и показателям здоровья. Обе группы участников исследования, помимо естественной академической стресс-нагрузки, были подвергнуты контролируемому дополнительно смоделированному учебному стрессу, включающему теоретический и практический модуль. Теоретический модуль имитировал экзаменационную сессию, с проведением контрольной работы с ограничением времени (90

вопросов на 60 минут). Практический модуль включал работу в симуляционном медицинском центре, с внезапным ухудшением состояния «пациента» на тренажере (например, падение АД с остановкой сердца) и использованием световых и шумовых раздражителей. Выполнение заданий теоретического и практического модулей выполнялось последовательно, ежедневно в течение 10 дней, с изменением и усложнением заданий на протяжении исследования.

Перед началом и после гипокситренировки у всех участников основной и контрольной групп был проведен биохимический анализ крови с определением уровней ТТГ, Т3, Т4, кортизола, лактата, ЛДГ, уровня глюкозы в крови с использованием модульной платформы клинической биохимии и иммунохимии Cobas 8000. Уровень HIF-1 α определялся методом ИФА в «сендвич» системе, содержание эритропоэтина с помощью автоматического иммунохимического анализатора IUMMULITE 2000 XPi. Гематологическое исследование, включающее оценку количества эритроцитов, гемоглобина, гематокрита, MCV, MCHC, ЦП было выполнено с помощью гематологического анализатора «Sysmex XN-9000».

Вначале исследования лицам основной группы была проведена гипоксическая проба для определения индивидуальной чувствительности к кислородной недостаточности с помощью гипоксикатора «OXYTERRA». Проба включала поэтапное снижение концентрации кислорода с мониторингом физиологических параметров (ЧСС, сатурация). Гипоксикатор автоматически рассчитывал рекомендуемую концентрацию кислорода для курса НИГТ, учитывая зависимость «доза-эффект» при составлении плана тренировочной сессии [6].

До и после исследования проводился мониторинг физиологических показателей, включающих вариабельность сердечного ритма (BCP). Оценка стандартных отклонений интервалов R-R (SDNN) осуществлялась с использованием аппаратно-программного комплекса «ВНСф-Спектр» для анализа вегетативной регуляции. Дополнительно измерялись показатели артериального давления с помощью тонометра Picooc X1 Pro, а также сатурация артериальной крови (SpO₂) и частота сердечных сокращений с применением пульсоксиметра В. Well Med-325. Этот подход согласуется с результатами Т. В. Серебровской и В. Б. Шатило, показавшими эффективность малоинвазивного метода спектрального анализа BCP для оценки вклада симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы в работу сердца в условиях гипоксии [7]. Опираясь на эти данные и обширную научную информацию, мы использовали аналогичный подход, что

позволило оценить интегративные реакции организма на гипоксию в условиях комбинированного стресса.

Оценка психологических показателей субъективного стресса и когнитивных функций была проведена с использованием теста Струпа в обеих группах до и после курса НИГТ. Данный тест оценивает внимание, гибкость мышления и торможение, противопоставляя слова, обозначающие цвета и цвет чернил, которыми они написаны. Исследуемым предлагалось выбрать ответ в соответствии со смыслом слова (слова, написанные черными чернилами), затем в соответствии с цветом слова (эквивалентные цвет и смысл), и, наконец, в соответствии с цветом слова, не соответствующим его смыслу (например, слово «красный», написанное зеленым цветом), подавляя помехи при чтении (эффект Струпа) [8]. Участники исследования прошли тест на оценку стрессоустойчивости по шкале PSS-10, состоящей из 10 вопросов, направленных на определение субъективного стресса за предыдущий месяц, включая чувство потери контроля и уровень эмоциональной напряженности.

Гипоксическая тренировка проводилась на установке «OXYTERRA» в циклическом режиме подачи воздуха: 5 минут дыхания воздухом, обедненным кислородом (11, 0%) с чередованием нормоксии (O₂ – 20,9%) в течение 5 минут. Контроль сатурации проводился постоянно во время тренировки. Продолжительность одного сеанса составляла 40 минут. Длительность курса составляла 20 процедур, что является минимальным количеством для достижения достоверных эффектов НИГТ [9].

Все исследования проводились исключительно после получения личного согласия студентов, в соответствии с этическими нормами, установленными Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации. Все участники перед началом исследования были подробно проинформированы о методике нормобарической интервальной гипокситерапии. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом КБГУ (протокол №7/11 от 20.02.2025 г.).

Статистический анализ результатов проводился с использованием программ Microsoft Office Excel и ANOVA в программе SPSS 26,0. На начальном этапе обработки данных вариационные ряды проверялись на соответствие нормальному распределению с использованием теста Шапиро-Уилка ($p > 0,05$). Анализ распределения значений показал, что исследуемые выборки принадлежат генеральным совокупностям с нормальным распределением. При сравнении связанных выборок (до и после лечения) использовался парный t -критерий Стьюдента. Исследовались изменения

в показателях студентов до и после воздействия нормобарической интервальной гипоксии в условиях стресса. Данный метод позволяет определить статистически значимые различия между этими двумя временными точками, что важно для оценки эффективности вмешательства.

Анализ вариации ANOVA был использован для сравнения значений независимых групп, что позволяло выявить различия между ними и определить какие из них статистически значимы. Полученные результаты были представлены в виде простой средней арифметической и стандартной

ошибки среднего $M \pm m$. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование позволило выявить ключевые диагностические стресс-маркеры адаптации к интервальной гипоксической тренировке у студентов, находящихся в условиях академического стресса. Результаты демонстрируют, что курсовое применение НИГТ способствует комплексной физиологической и психологической адаптации (табл. 1).

Таблица 1. Динамика биохимических маркеров у студентов старших курсов до и после интервальной гипоксической тренировки.

Table 1. Dynamics of biochemical markers in senior students before and after interval hypoxic training.

Показатели	Основная группа	Контрольная группа	p-value
	до/ после	до/после	
Кортизол (нмоль/л)	185,36±16,44 120,27±15,08	125,27±11,64 130,47±8,46	$p_1 < 0,01$ $p_2 > 0,05$
ЛДГ (Ед/л)	220,48±16,73 280,55±18,57	225,38±20,12 230,74±16,72	$p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$
ТТГ (мЕд/л)	2,28±0,17 1,86±0,12	1,94±0,07 1,76±0,14	$p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$
Т3 (пмоль/л)	4,47±0,25 5,25±0,21	4,39±0,16 4,37±0,24	$p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$
Т4 (пмоль/л)	14,53±1,22 18,36±1,23	15,37±1,12 15,62±1,31	$p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$

Примечание: p_1 – достоверность различий между показателями основной группы; p_2 – достоверность различий у контрольной группы; лактатдегидрогеназа (ЛДГ); тиреотропный гормон (ТТГ); трийодтиронин (Т3); тироксин (Т4).

Note: p_1 - significance of differences between the main group indicators; p_2 — significance of differences in the control group; lactatedehydrogenase (LDH); thyroid-stimulating hormone (TSH); triiodothyronine (T3); thyroxine (T4).

Снижение лактата с $3,33 \pm 0,18$ ммоль/л до $1,57 \pm 0,11$ ммоль/л ($p < 0,001$) и стабилизация уровня глюкозы крови с $5,85 \pm 0,12$ ммоль/л до $4,72 \pm 0,14$ ммоль/л ($p < 0,05$) свидетельствовала об оптимизации энергетического метаболизма в условиях гипоксии (табл. 2).

Нормализация уровня кортизола, ТТГ и Т3, Т4 подтверждала снижение стрессовой нагрузки на эндокринную систему у студентов, прошедших курсы гипокситренировок. Умеренное повышение ЛДГ могло быть связано с адаптацией клеточного дыхания к гипоксическим условиям.

Биохимические и гематологические данные указывают о значимом повышении уровня HIF-1 α и эритропоэтина в основной группе после НИГТ, что свидетельствовало об активации гипоксических сигнальных путей и усилении эритропоэза, без значимых изменений в контрольной группе. Ключевую роль в индукции эритропоэза, ангио-

генеза и гликолиза играет белок HIF-1, активирующийся при гипоксии, усиливая транскрипцию генов эритропоэтина, факторов роста сосудов, ферментов гликолиза, вызывая комплексный ответ на долговременную гипоксию [10]. Это коррелирует с увеличением количества эритроцитов, гемоглобина и гематокрита, что указывает на улучшение кислородтранспортной функции крови у лиц основной группы.

Перед началом исследования участники основной и контрольной групп показали признаки вегетативного дисбаланса. Анализ variability сердечного ритма (BCP) после НИГТ выявил увеличение SDNN на 15–20% и значительное уменьшение прироста ЧСС в основной группе, тогда как изначальные данные указывали на снижение SDNN (70–90 мс); тахикардию легкой степени (ЧСС 87–90 уд/мин) без клинически значимых нарушений сердечного ритма; пограничное

Таблица 2. Динамика гематологических и физиологических маркеров у студентов старших курсов до и после интервальной гипоксической тренировки.

Table 2. Dynamics of haematological and physiological markers in senior students before and after interval hypoxic training.

	Основная группа	Контрольная группа	p-value
	до/ после	до/после	
HIF-1 α (пг/мл)	8,24 \pm 1,05 13,02 \pm 1,82	8,06 \pm 0,32 8,32 \pm 0,35	p ₁ < 0,05 p ₂ > 0,05
Эритропоэтин (мМЕ/мл)	10,51 \pm 1,12 15,53 \pm 1,27	10,32 \pm 1,04 10,81 \pm 1,01	p ₁ < 0,01 p ₂ > 0,05
эритроциты ($\times 10^{12}$ /л)	4,52 \pm 0,11 4,95 \pm 0,12	4,67 \pm 0,21 4,78 \pm 0,31	p ₁ < 0,05 p ₂ > 0,05
Hb (г/л)	135,51 \pm 2,13 143,36 \pm 3,26	134,34 \pm 4,62 136,42 \pm 5,33	p ₁ < 0,05 p ₂ > 0,05
Ht (%)	42,23 \pm 1,21 46,62 \pm 1,16	41,83 \pm 2,21 42,36 \pm 1,22	p ₁ < 0,05 p ₂ > 0,05
ЦП	0,89 \pm 0,01 0,95 \pm 0,03	0,89 \pm 0,12 0,91 \pm 0,15	p ₁ < 0,05 p ₂ > 0,05
MCV (фл)	90,36 \pm 2,11 84,26 \pm 1,25	87,73 \pm 3,36 87,36 \pm 2,44	p ₁ < 0,05 p ₂ > 0,05
MCHC (гр/дл)	34,37 \pm 1,31 37,95 \pm 1,09	33,51 \pm 1,54 34,37 \pm 2,73	p ₁ < 0,05 p ₂ > 0,05

Примечание: p₁ – достоверность различий между показателями основной группы; p₂ – достоверность различий у контрольной группы; фактор, индуцируемый гипоксией (HIF-1 α).

Note: p₁ – significance of differences between the main group indices; p₂ – significance of differences in the control group; hypoxia-inducible factor (HIF-1 α).

повышение АД (СД - 128-135 мм.рт.ст., ДД - 85-90 мм.рт.ст); SpO₂ - 96-98%.

Завершение курса НИГТ сопровождалось усилением вагусной активности. Стабилизация показателей артериального давления в условиях гипоксической нагрузки подтверждает рост адаптационного резерва сердечно-сосудистой системы к стрессовым воздействиям.

Применение интервальных гипоксических тренировок привело к статистически значимому улучшению психологической и когнитивной устойчивости у студентов-медиков в основной группе. До НИГТ тест Струпа у студентов обеих групп показал относительно низкую эффективность когнитивных функций, что выражалось в снижении скорости обработки информации и внимания. Тест PSS-10 до начала исследования выявил средний результат, что указывало на высокий уровень стресса, чувство потери контроля и эмоциональное напряжение.

Результаты количественной динамики психофизиологических маркеров академического стресса у студентов - медиков представлены в таблице 3. После завершения исследования проверка с использованием Струп-теста показала

улучшение когнитивных функций. Если перед началом исследования на выполнение заданий у студентов обеих групп уходило 450,41 \pm 24,21 мс, то после завершения исследования отмечалось сокращение времени выполнения задания в основной группе, что свидетельствовало о повышении внимания, гибкости мышления и способности к торможению. Время на выполнение заданий сократилось до 380,46 \pm 23,38 мс, что говорило о повышении скорости обработки информации и способности к когнитивному торможению. Шкала PSS-10 продемонстрировала снижение субъективной оценки стресса на 25–30% в основной группе, подтверждая повышение стрессоустойчивости. Результаты шкалы PSS-10 на момент окончания НИГТ показали снижение субъективной оценки стресса на 4,5 балла, (результат до 22,52 \pm 1,06 баллов), тогда как в контрольной наблюдалась незначительная динамика повышения стресса: до 21,85 \pm 1,09 баллов после 22,17 \pm 1,63 баллов. Изменения в основной группе коррелируют с нормализацией вегетативных и биохимических маркеров, подчеркивая взаимосвязь физиологических, психологических и адаптационных механизмов.

Таблица 3. Динамика психофизиологических маркеров у студентов старших курсов до и после интервальной гипоксической тренировки.**Table 3. Dynamics of psychophysiological markers in senior students before and after interval hypoxic training.**

Показатели	Основная группа	Контрольная группа	p-value
	до/после	до/после	
Тест Струпа, время реакции (мс)	450,41±24,62	440,37±28,05	$p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$
	380,46±23,38	435,44±27,56	
Точность решений (%)	65,53±3,27	68,42±4,32	$p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$
	78,44±3,61	70,47±4,33	
Баллы PSS-10	22,52±1,06	21,85±1,09	$p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$
	18,07±1,32	22,17±1,63	

Примечание: p_1 – достоверность различий между показателями основной группы; p_2 – достоверность различий у контрольной группы

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в исследовании данные свидетельствуют о высокой эффективности нормobarической интервальной гипоксической тренировки (НИГТ) как метода повышения адаптационного потенциала и стрессоустойчивости студентов-медиков в условиях интенсивной академической нагрузки.

После адаптации к гипоксии отмечалось статистически значимое снижение уровня кортизола, отражающее уменьшение активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси и, соответственно, снижение хронического стрессового ответа. Одновременно отмечалось улучшение параметров тиреоидного профиля (ТТГ, Т3, Т4), что указывает на стабилизацию функций эндокринной системы. Повышение активности лактатдегидрогеназы в крови может быть интерпретировано как проявление компенсаторной активации аэробного метаболизма в ответ на гипоксическую стимуляцию.

Анализ гематологических показателей подтвердил улучшение кислородтранспортной функции крови: наблюдалось повышение уровня эритроцитов, гемоглобина, гематокрита и цветового показателя, а также достоверное увеличение уровней HIF-1 α и эритропоэтина, что согласуется с известными молекулярными механизмами ответа на гипоксию [11]. Эти изменения отражают активацию системной адаптационной реакции, направленной на оптимизацию доставки кислорода тканям.

Физиологические показатели вариабельности сердечного ритма (ВСР) и артериального давления показали нормализацию вегетативного баланса с доминированием парасимпатической активности, что можно расценивать как маркер восстановления гомеостаза в условиях хронического стресса.

Психофизиологическая оценка когнитивной устойчивости и уровня субъективного стресса показала статистически значимое улучшение показателей Струп-теста (уменьшение времени реакции и повышение точности ответов), а также снижение баллов по шкале PSS-10, что указывает на рост способности к произвольному вниманию, когнитивному торможению и общую адаптацию к стрессу. Полученные результаты подтверждают, что НИГТ эффективна не только в качестве физиологического воздействия, но и как средство когнитивно-психологической коррекции.

Полученные результаты в основной группе подтверждают выводы, представленные в ряде отечественных и зарубежных научных работ. Ранее было установлено, что гипоксическое воздействие вызывает повышение уровня HIF-1 α - ключевого маркера активации адаптационных реакций организма [12]. Молекулярные и клеточные механизмы данного процесса подробно описаны в научной литературе. В частности, показано, что гипоксия инициирует формирование транскрипционного комплекса с участием HIF-1 α , накапливающегося при снижении кислорода и индуцирующего синтез эритропоэтина. Этот механизм активно исследуется как в зарубежных, так и в российских работах [13, 14].

Наши данные полностью согласуются с этими результатами. Повышение концентрации эритропоэтина сопровождалось положительной динамикой гематологических параметров: увеличением числа эритроцитов, уровней гемоглобина и гематокрита, что подтверждает активизацию процессов кроветворения в условиях НИГТ.

Курс гипоксической тренировки продемонстрировал умеренное снижение уровня глюкозы и в контрольной группе, что соответствует результатам, ранее полученным в исследовании Т. С. Залетовой, С. А. Дербенёвой и соавт., где НИГТ применялась как метод реабилитации па-

циентов после инсульта [15]. Примечательно, что снижение уровня глюкозы наблюдалось как у здоровых добровольцев, так и у лиц с различными заболеваниями, что свидетельствовало о системном метаболическом эффекте НИГТ. Это подчёркивает универсальность метода, применимого как в рамках профилактики стрессовых состояний, так и в клинической практике при реабилитации пациентов.

Современные исследования подтверждают значимость комплексной оценки адаптационного ответа, включающей биохимические, вегетативные, гематологические и когнитивные маркеры [16]. Их динамика под воздействием интервальной гипоксической тренировки позволяет судить о повышении стрессоустойчивости, что напрямую связано с успешностью учебной деятельности и профессиональной подготовкой медицинских кадров.

НИГТ оказал комплексное системное действие, охватывающее эндокринную, гематологическую, вегетативную и когнитивную сферы, что делает её перспективным и научно обоснованным методом для профилактики дезадаптационных состояний у лиц, находящихся в условиях хронического стресса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования демонстрируют, что нормобарическая интервальная гипоксическая тренировка обладает выраженным адаптогенным эффектом при воздействии хронического академического стресса. Включение НИГТ в систему профилактических и оздоровительных мероприятий у студентов медицинских вузов может стать эффективным инструментом сохранения психофизиологического здоровья, повышения стрессоустойчивости и устойчивости к интеллектуальным нагрузкам. Дальнейшие исследования, направленные на изучение индивидуальных адаптационных паттернов и оптимизацию протоколов НИГТ, представляют важную задачу современной превентивной медицины.

Благодарность: авторы выражают благодарность студентам – волонтерам старших курсов медицинской академии КБГУ за участие в исследовательской работе.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of interest. The authors have no conflicts of interest to declare.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абабков В., Перре А. М. Адаптация к стрессу: основы теории, диагностики, терапии. СПб.: Речь; 2010.

2. Моррисон В. В., Яцкевич С. Н., Завьялов А. И. Научный вклад академика АМН СССР Н.Н. Сиротинина в развитие отечественной патофизиологии. Материалы 14-й международной научной конференции: Москва, 2016;164-166.

3. Балунев И. О., Михалищина А. С., Венерин А. А., Глазачев О. С. Технологии искусственного интеллекта в медико-биологических исследованиях адаптации и дезадаптации человека к различным факторам среды. Экология человека. 2025;32(1). doi:10.17816/humeco643537.

4. Арапова З. У., Шукуров Ф. А., Халимова Ф. Т. Современные аспекты изучения адаптивных возможностей организма к условиям высокогорья (обзор литературы). Биология и интегративная медицина. 2022;3(56):4-47.

5. Ахмадулина Д. Ш., Баршева Е. Н., Бурганов Э. Р., Хузина Г. Р. Дозированная нормобарическая гипоксическая стимуляция (гипокситерапия): вопросы эффективности применения в комплексной медицинской реабилитации пациентов неврологического и соматического профиля. Неврология/Ревматология. Реабилитационная медицина. 2018;1(9):13-14.

6. Рязанцев А. Л., Гребенникова И. Н. Применение метода интервальной гипоксической тренировки в рекреационной физической культуре у мальчиков 14-15 лет. Наука и спорт: современные тенденции. 2023;11(3):30-38. doi:10.36028/2308-8826-2023-11-3-30-38.

7. Серебряковская Т. В., Шатило В. Б. Опыт применения интервальной гипоксии в профилактике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний. Обзор. Кровообращение и гемостаз. 2014;1-2:16-33.

8. Михалищина А. С., Загайный Э. Д., Васина Я. В., Глазачев О. С. Влияние однократной интервальной гипоксической стимуляции на когнитивные функции здоровых добровольцев. Новости психофизиологии. 2023; (4):86-95. doi:10.34985/d2699-5404-1619-b.

9. Самойлов В. О., Максимов А. Л., Филиппова Е. Б., Королев Ю. Н., Голубев В. Н., Головина А. С., Савокина О. В., Лесова Е. М., Антоненкова Е. В., Мясников А. А., Кулешов В. И. Влияние интервальной гипоксической тренировки на функциональное состояние человека в условиях гипоксической гипоксии. Бюллетень Российской Военной Медицинской Академии. 2014;4(48):158-163.

10. Кривошеков С. Г. Стресс, функциональные резервы и здоровье. Сибирский педагогический журнал. 2012;(9):104-109.

11. Адамян Н. Ю., Карапетян М. А. Гипокситерапия – лечение кислородной недостаточностью. Медицинская наука Армении НАН РА. 2018;58(3):42-49.

12. Зенько М. Ю., Рыбникова Е. А. Гипоксическая адаптация и тренировка: исторические, биомедицинские и спортивные аспекты. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2021;55(1):20-26.
13. Dellavechia de Carvalho C., Marcolino Putti G., Foresti Y. F., Ribeiro F. A., Andreossi J. C., Ferraz de Campos G., Papoti M. Recovery in normobaric hypoxia as an additional stimulus for high-intensity intermittent training. *Science & Sports*. 2023;38(2):189-196. doi:10.1016/j.scispo.2021.12.007.
14. Pugh C. W., Ratcliffe P. J. New horizons in hypoxia signaling pathways. *Experimental Cell Research*. 2017;356(2):161-121. doi:10.1016/j.yexcr.2017.03.008.
15. Залетова Т. С., Дербенева С. А., Фефанова Т. Б., Зайнудинов З. М. Интервальная гипоксическая терапия как метод реабилитации больных с инсультом. *Современные проблемы цивилизации и устойчивого развития в информационном обществе*. 2022:456-463. doi:10.34755/IROK.2022.75.23.043
16. Гребенкина Е. П., Галиахметова Н. П., Благоразумова М. Г. Адаптация как устойчивость к стрессу у студентов разных специальностей медицинского ВУЗа. *Электронный научный журнал «Дневник науки»*. 2025;(2).
6. Ryazantsev A. I., Grebennikova I. N. Application of the method of interval hypoxic training in recreational physical education in boys aged 14-15 years. *Science and sport: Current trends*. 2023;11(3):30-38. (in Russ.). doi:10.36028/2308-8826-2023-11-3-30-38.
7. Serebrovskaya T. V., Shatilo V. B. Experience of using interval hypoxia in prevention and treatment of cardiovascular disease: Review. *Blood circulation and hemostasis*. 2014;(1-2):16-33. (in Russ.).
8. Mikhailishchina A. S., Zagayniy E. D., Vasina Y. V., Glazachev O. S. Effect of single interval hypoxic stimulation on cognitive functions of healthy volunteers. *Psychophysiology News*. 2023;(4):86-95. (in Russ.). doi:10.34985/d2699-5404-1619-b.
9. Samoylov V. O., Maksimov A. L., Filipova E. B., Korolev Y. N., Golubev V. N., Golovina A. S., Lesova E. M., Antonenkova E. V., Myasnikov A. A., Kuleshov V. I. Effect of interval hypoxic training on the functional state of human in the terms of hypoxic hypoxia. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2014;4(48):158-163. (in Russ.).
10. Krivoshchekov S. G. Stress, functional reserves and health. *Siberian Pedagogical Journal*. 2012;(9):104-109. (in Russ.).
11. Adamyan N. Yu., Karapetyan M. A. Hypoxitherapy- treatment with oxygen insufficiency. *Medical Science of Armenia, NAS RA*. 2018;58(3):42-49. (in Russ.).
12. Zenko M.Yu., Rybnikova E.A. Hypoxic adaptation and training: historic, biomedical and sport aspects. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2021;55(1):20-26. (in Russ.).
13. Dellavechia de Carvalho C., Marcolino Putti G., Foresti Y. F., Ribeiro F. A., Andreossi J. C., Ferraz de Campos G., Papoti M. Recovery in normobaric hypoxia as an additional stimulus for high-intensity intermittent training. *Science & Sports*. 2023;38(2):189-196. doi:10.1016/j.scispo.2021.12.007.
14. Pugh C. W., Ratcliffe P. J. New horizons in hypoxia signaling pathways. *Experimental Cell Research*. 2017;356(2):161-121. doi:10.1016/j.yexcr.2017.03.008.
15. Zaletova T. S., Dербенева S. A., Feofanova T. B., Zainudinov Z. M. Interval hypoxic therapy as a method of rehabilitation of patients with stroke. 2022:456-463. (in Russ.). doi:10.34755/IROK.2022.75.23.043.
16. Grebenkina E. P., Galiakhmetova N. P., Blagorazumova M. G. Adaptation as Stress Resilience in Students of Different Specialties at a Medical University. *Electronic Scientific Journal «Science Diary»*. 2025;(2). (in Russ.).

REFERENCES