Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_21
УДК 616-092.19:57.043

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_21
UDC 616-092.19:57.043

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АДАПТАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКЕ У ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

А.Г. Шокуева, И.Х. Борукаева, Т.Б. Кипкеева, Ф.В. Шаваева, Л.К. Шерхова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова», г. Нальчик, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Адаптация к гипоксическим условиям во многом определяется состоянием вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы. Цель: оценить особенности вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы и ее изменения под влиянием интервальной гипоксической тренировки у студентов, сформировавшихся в условиях среднегорья, низменности и предгорья. ***Методы.*** Обследованы жители среднегорья, низменности и предгорья. Оценивали показатели вариабельности сердечного ритма, частоту сердечных сокращений, артериальное давление, сатурацию кислорода и интегральные индексы до и после курса интервальной гипоксической тренировки. Статистическую обработку проводили с использованием t-критерия Стьюдента при $p<0,05$. ***Результаты.*** После курса интервальной гипоксической тренировки во всех группах выявлено улучшение показателей вегетативной регуляции, особенно у жителей среднегорья. ***Заключение.*** Проживание в условиях среднегорья способствует формированию более устойчивого адаптационного фенотипа.
Ключевые слова: вегетативная регуляция, вариабельность сердечного ритма, гипоксическая устойчивость, интервальная гипоксическая тренировка, среднегорье, адаптация.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF ADAPTIVE CHANGES IN THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM DURING INTERVAL HYPOXIC TRAINING IN INDIVIDUALS LIVING IN DIFFERENT CLIMATIC AND GEOGRAPHICAL CONDITIONS

A.G. Shokueva, I.Kh. Borukaeva, T.B. Kipkeeva, F.V. Shavaeva, L.K. Sherkhova
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Adaptation to hypoxic conditions is largely determined by the state of the cardiovascular system's autonomic regulation. Objective: to evaluate the characteristics of the of the cardiovascular system's autonomic regulation and its changes under the influence of interval hypoxic training in students formed in the conditions of middle mountains, lowlands and foothills. ***Methods.*** Residents of middle mountains, lowlands and foothills were examined. Heart rate variability, heart rate, blood pressure, oxygen saturation and integral indices were assessed before and after an interval hypoxic training course. Statistical processing was performed using Student's t-test at $p<0.05$. ***Results.*** After the course, improvement in autonomic regulation indices was revealed in all groups, especially in middle mountains residents. ***Conclusions.*** Living in mid-mountain conditions contributes to the formation of a more stable adaptive phenotype.
Keywords: autonomic regulation, heart rate variability, hypoxic resistance, interval hypoxic training, midland, adaptation.

Введение. Адаптация организма к гипоксическим условиям представляет собой сложный многоуровневый процесс, в котором ключевую роль играет вегетативная нервная система [1]. Одним из наиболее информативных методов оценки состояния автономной регуляции организма является анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР), позволяющий количественно оценить баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы [2]. Воздействие гипоксии на организм человека приводит к значительным изменениям показателей ВСР, характеризующимся снижением временных и спектральных показателей, что отражает активацию симпатического звена и снижение вагусного влияния [3]. Проживание человека в условиях гипобарической гипоксии способствует формированию

устойчивых адаптационных механизмов, обеспечивающих более экономичное функционирование сердечно-сосудистой системы и повышение устойчивости организма к гипоксическому воздействию [4].

Особое место в структуре научных исследований по проблемам гипоксии занимают исследования, направленные на изучение воздействия управляемой гипоксической стимуляции на адаптационные возможности организма [5]. В научной литературе интервальная гипоксическая тренировка (ИГТ) рассматривается как эффективный способ повышения адаптационного потенциала организма человека [6]. ИГТ способствует улучшению показателей гемодинамики и ВСР за счет усиления парасимпатической активности и нормализации вегетативного баланса нервной системы [7]. Кратковременное воздействие нормобарической гипоксии на организм человека вызывает фазовые изменения активности вегетативной нервной системы с преобладанием симпатического влияния в период гипоксической экспозиции и последующей активацией парасимпатического компонента в восстановительном периоде [8]. Несмотря на большое количество публикаций по изучению влияния ИГТ на организм остается недостаточно изученным вопрос о том, в какой степени эффективность ИГТ зависит от исходного адаптационного фона, сформированного в различных климатогеографических условиях.

Цель исследования – оценить особенности вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы и ее адаптационные изменения под влиянием интервальной гипоксической тренировки у студентов, проживающих в различных климатогеографических условиях.

Методы и организация исследования. В исследовании приняли участие 351 студент Медицинской академии Кабардино-Балкарского государственного университета. Средний возраст обследованных составил 22,37±0,42 года. По критерию условий проживания обследуемые были распределены на три группы: I группа (n=127) – студенты, постоянно проживавшие в условиях среднегорья (г. Тырныауз, около 1 300 м над уровнем моря); II группа (n=113) – студенты, сформировавшиеся в условиях низменного климата (равнинные районы Туркменистана, 70-230 м над уровнем моря); III группа (n=111) – студенты, проживавшие в предгорной зоне Кабардино-Балкарской Республики (450-700 м над уровнем моря). Исследование было проведено только у лиц мужского пола для повышения однородности выборки, исключения влияния гормональных циклических факторов и повышения точности сравнительной оценки вегетативной регуляции у жителей разных климатогеографических зон, которые могли бы существенно исказить оценку исходного вегетативного статуса.

Группы были сопоставимы по возрасту, уровню физической активности и образовательному статусу ($p>0,05$). Оценивались следующие показатели вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы: ВСР; частота сердечных сокращений (ЧСС); систолическое и диастолическое артериальное давление (САД, ДАД); показатели общей вариабельности сердечного ритма; стандартное отклонение нормальных интервалов (SDNN); показатель парасимпатической активности; квадратный корень из среднего квадрата разностей между соседними нормальными интервалами (RMSSD); мощность низкочастотного диапазона вариабельности сердечного ритма (LF); мощность высокочастотного диапазона (HF); индекс LF/HF для оценки баланса симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы; индекс интегральных функциональных резервов (ИИФР); индекс интегральной гипоксической устойчивости (ИИГУ).

Исследование выполнялось в два этапа, до начала курса интервальной гипоксической тренировки (Т0) и после его завершения (Т1). Программа тренировки включала чередование гипоксических и нормоксических фаз в контролируемых условиях. Регистрация показателей ВСР проводилась в состоянии покоя в стандартных условиях. Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации и одобрено локальным этическим комитетом Кабардино-Балкарского государственного университета (протокол № 7/11 от 20.02.2025 г.).

Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакета IBM SPSS Statistics. Проверку нормальности распределения количественных показателей проводили с использованием критерия Шапиро-Уилка. Дополнительно учитывали результаты графического анализа распределения. Отсутствие статистически значимых различий дисперсий между сравниваемыми группами ($p>0,05$) подтвердило корректность применения параметрических методов статистического анализа. Количественные данные представлены в виде M±σ. Для сравнения независимых выборок использовался t-критерий Стьюдента, для оценки динамики – парный t-критерий. Различия считались статистически значимыми при $p<0,05$. Построение диаграмм осуществлялось с применением программной среды Python (библиотека Matplotlib).

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ исходных показателей функционального состояния студентов трех групп выявил, что уровень сатурации кислорода в покое в I группе студентов был выше по сравнению со II группой (96,46±1,08%, 96,01±0,80%, $p<0,001$), значимые различия с III группой отсутствовали ($p=0,581$). Минимальные значения SpO_2 при гипоксической нагрузке в I группе студентов были значимо ($p<0,001$) выше по сравнению со II и III группами исследованных лиц (88,04±2,94%, 86,15±2,73% и 86,32±2,59% соответственно), что свидетельствует о более высокой гипоксической устойчивости студентов, проживавших в условиях среднегорья. ЧСС в I группе обследуемых была значительно ($p<0,001$) ниже по сравнению со II и III группами студентов (71,38±3,75 уд/мин, 74,48±3,52 уд/мин, 74,48±3,31 уд/мин соответственно), что указывает на более экономичный характер функционирования сердечно-сосудистой системы у студентов, проживавших в условиях среднегорья. САД и ДАД у студентов I группы, проживающих в условиях среднегорья, были существенно ($p<0,001$) ниже по сравнению с показателями II и III групп. Показатели ВСР в I группе студентов SDNN составили 50,83±6,14 мс, что статистически значимо ($p=0,001$) выше по сравнению со II и III группами обследованных (48,20±6,24 и 48,11±6,10 мс соответственно); RMSSD в I группе участников исследования составил 32,48±5,45 мс и был существенно выше ($p\leq0,005$), чем у лиц II и III групп, что отражает более высокий уровень автономной регуляции у людей, проживающих в условиях среднегорья (табл. 1).

Таблица 1

Исходные показатели функционального состояния и гипоксической устойчивости, M±σ

Показатель	I группа (n=127)	II группа (n=113)	III группа (n=111)	P< (I-II)	P< (I-III)	P< (II-III)
SpO_2 покой, %	96,46±1,08	96,01±0,80	96,39±0,82	0,001	–	0,001
SpO_2 миним, %	88,04±2,94	86,15±2,73	86,32±2,59	0,001	0,001	–
ЧСС, уд/мин	71,38±3,75	74,48±3,52	74,48±3,31	0,001	0,001	–
САД, мм рт. ст.	117,17±4,24	119,69±3,84	120,50±3,38	0,001	0,001	–
ДАД, мм рт. ст.	71,34±3,65	74,48±3,52	73,95±3,26	0,001	0,001	–
SDNN, мс	50,83±6,14	48,20±6,24	48,11±6,10	0,001	0,001	–
RMSSD, мс	32,48±5,45	30,43±5,71	30,37±5,68	0,005	0,004	–

Примечание: SpO_2 покой – сатурация артериальной крови кислородом в покое; SpO_2 миним – минимальная сатурация артериальной крови кислородом; ЧСС – частота сердечных сокращений; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; SDNN – стандартное отклонение нормальных интервалов; RMSSD – квадратный корень из среднего квадрата разностей между соседними нормальными интервалами.

У исследуемых всех трех групп исходное состояние вегетативной регуляции характеризовалось различной степенью напряжения адаптационных механизмов. Однако выраженность вегетативного дисбаланса зависела от климатогеографических условий проживания и уровня привычной адаптации организма к гипоксическому фактору.

У жителей среднегорья отмечался ваготонический тип вегетативной регуляции. Вегетативный статус можно расценивать как более адаптированный к условиям умеренной природной гипоксии. Для этой группы характерны относительная устойчивость регуляторных механизмов, более экономный режим функционирования сердечно-сосудистой системы и меньшая выраженность симпатического напряжения. У них вегетативная регуляция находится в состоянии функциональной компенсации: организм уже приспособлен к сниженному парциальному давлению кислорода, поэтому реакция автономной нервной системы менее напряженная.

Для жителей низменности более характерным был симпатикотонический тип вегетативной регуляции. Это может свидетельствовать о меньшей тренированности кислородтранспортных и регуляторных систем к гипоксическим воздействиям. У данной группы выявляются признаки напряжения адаптационно-компенсаторных механизмов: усиление симпатических влияний, снижение вагусного контроля и менее стабильный вегетативный баланс. Следовательно, жители низменности имеют более низкий исходный адаптационный резерв по сравнению с жителями среднегорья.

У жителей предгорья выявлялся смешанный или переходный тип вегетативной регуляции. С одной стороны, условия проживания в предгорной зоне могут способствовать частичной адаптации к изменяющимся климатогеографическим факторам, с другой – эта адаптация выражена не так значительно, как у жителей среднегорья. Поэтому у данной группы умеренное напряжение регуляторных систем: показатели вегетативного баланса ближе к компенсированному состоянию, но при этом сохраняются признаки функционального напряжения автономной регуляции.

Анализ показателей функционального состояния после курса ИГТ выявил, что уровень сатурации кислорода в покое увеличился во всех исследованных группах студентов, при этом во II и III группах он был достоверно ($p<0,01$) выше по сравнению с I группой (97,69±0,91%, 97,68±0,93%, 97,33±0,92% соответственно). В то же время минимальные значения SpO_2 при гипоксической нагрузке в группе проживающих в условиях среднегорья оставались значимо ($p<0,001$) выше по сравнению со II и III группами студентов (92,14±2,16%, 89,24±2,50%, 89,38±2,50% соответственно), что свидетельствует о сохранении более высокой гипоксической устойчивости у студентов, проживающих в условиях среднегорья.

ЧСС после ИГТ во всех трех группах студентов снизилась, значимо ($p<0,001$) более низкие значения регистрировались в I группе (67,94±3,11 уд/мин) по сравнению со II и III группами (72,48±3,52 уд/мин, 72,69±3,50 уд/мин). Похожая тенденция наблюдалась для показателей САД и ДАД в I группе студентов.

Таблица 2

Изменение показателей после гипоксической тренировки

Показатель	I группа	II группа	III группа	P< (I-II)	P< (I-III)
SpO_2 покой, %	97,33±0,92	97,69±0,91	97,68±0,93	0,003	0,004
SpO_2 мин, %	92,14±2,16	89,24±2,50	89,38±2,50	0,001	0,001
ЧСС, уд/мин	67,94±3,11	72,48±3,52	72,69±3,50	0,001	0,001
САД, мм рт. ст.	113,91±4,06	117,64±3,93	117,77±3,88	0,001	0,001
ДАД, мм рт. ст.	69,45±3,24	72,55±3,70	72,62±3,60	0,001	0,001
SDNN, мс	57,75±6,39	54,11±5,87	54,07±5,82	0,001	0,001
RMSSD, мс	38,44±5,65	35,50±5,35	35,54±5,37	0,001	0,001

Примечание: SpO_2 покой – сатурация артериальной крови кислородом в покое; SpO_2 миним – минимальная сатурация артериальной крови кислородом; ЧСС – частота сердечных сокращений; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; SDNN – стандартное отклонение нормальных интервалов; RMSSD – квадратный корень из среднего квадрата разностей между соседними нормальными интервалами.

ВСР после ИГТ увеличилась во всех трех группах обследованных студентов. Максимальные значения (p<0,001) регистрировались в I группе студентов, проживающих в условиях среднегорья, SDNN у них составил 57,75±6,39 мс в отличие от студентов II и III групп (54,11±5,87 мс и 54,07±5,82 мс). У студентов, проживающих в условиях среднегорья, RMSSD был значимо выше (38,44±5,65 мс) в сравнении с лицами, проживающими в условиях низменности и предгорья (35,50±5,35 мс и 35,54±5,37 мс) (табл. 2).

После курса ИГТ во всех группах отмечается улучшение показателей газообмена и вегетативной регуляции, при этом наиболее благоприятный функциональный профиль сохраняется у студентов, адаптированных к условиям среднегорья.

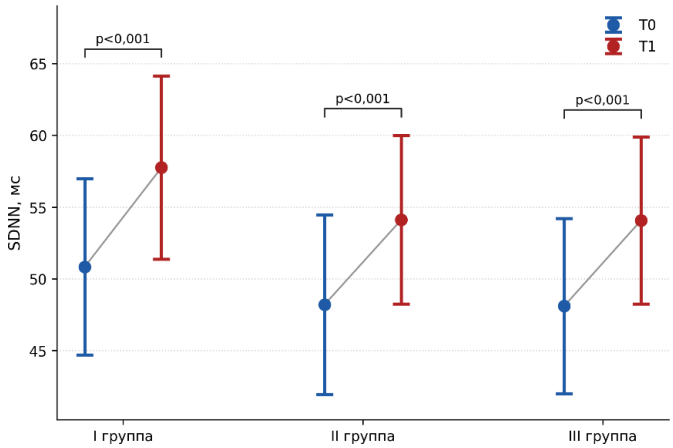


Рис. 1. Динамика показателя SDNN у студентов трех групп до (T0) и после (T1) ИГТ
Примечание: SDNN – стандартное отклонение нормальных интервалов; ИГТ – интервальная гипоксическая тренировка; p – уровень статистической значимости различий между T0 и T1; I группа – студенты, постоянно проживавшие в условиях среднегорья; II группа – студенты, проживающие в условиях равнинных районов; III группа – студенты, проживавшие в предгорной зоне.

Анализ динамики показателей ВСР выявил положительные изменения во всех группах после курса ИГТ. Установлено, что показатель SDNN увеличился во всех группах студентов, при этом наибольший прирост отмечен в I группе лиц, проживающих в условиях среднегорья (+6,92 мс), по сравнению со II и III группами студентов (+5,91 и +5,96 мс соответственно) (рис. 1).

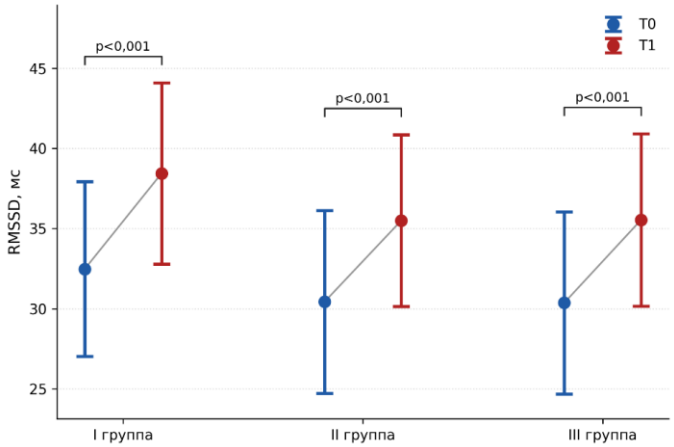


Рис. 2. Динамика показателя RMSSD у студентов трех групп до (T0) и после (T1) ИГТ
Примечание: RMSSD – квадратный корень из среднего квадрата разностей между соседними нормальными интервалами; ИГТ – интервальная гипоксическая тренировка; p – уровень статистической значимости различий между T0 и T1; I группа – студенты, постоянно проживавшие в условиях среднегорья; II группа – студенты, сформировавшиеся в условиях равнинных районов; III группа – студенты, проживавшие в предгорной зоне.

Похожая тенденция наблюдалась для показателя RMSSD; в I группе студентов рост составил +5,96 мс, во II и III группах прирост был менее выражен (+5,07 мс и +5,17 мс соответственно). Полученные данные свидетельствуют о более значительном усилении автономной регуляции у студентов, адаптированных к условиям среднегорья (рис. 2).

Отмечено снижение ЧСС во всех группах обследованных, наиболее выраженное в I группе студентов (-3,44 уд/мин), по сравнению со II (-2,00 уд/мин) и III группами (-1,79 уд/мин), что отражает формирование более экономичного режима функционирования сердечно-сосудистой системы (рис. 3).

Уровень SpO_2 в покое увеличился во всех группах обследованных студентов, наиболее выраженный рост наблюдался во II группе (+1,68%), тогда как в I и III группах прирост составил +0,87% и +1,29% соответственно. Минимальные значения SpO_2 при гипоксической нагрузке повысились во всех группах, однако максимальный прирост отмечен в I группе студентов (+4,10%; +3,09%; +3,06%). Наиболее выраженные изменения САД отмечены в I группе студентов (-3,26 мм рт. ст.), ДАД – во II группе обследованных (–1,93 мм рт. ст.).

ИГТ сопровождается улучшением автономной регуляции, повышением ВСР и оптимизацией сердечно-сосудистой функции во всех группах, при этом наиболее выраженные адаптационные изменения наблюдаются у лиц, проживающих в условиях среднегорья.

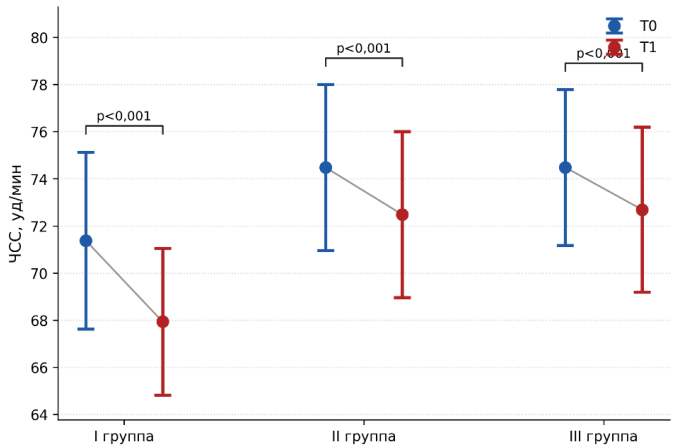


Рис. 3. Динамика ЧСС у студентов трех групп до (T0) и после (T1) ИГТ

Примечание: ЧСС – частота сердечных сокращений; ИГТ – интервальная гипоксическая тренировка; p – уровень статистической значимости различий между T0 и T1. I группа – студенты, постоянно проживавшие в условиях среднегорья, II группа – студенты, сформировавшиеся в условиях равнинных районов, III группа – студенты, проживавшие в предгорной зоне.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что проживание в условиях среднегорья сопровождается формированием устойчивого адаптационного фенотипа, характеризующегося более экономичным функционированием сердечно-сосудистой системы, большей устойчивостью к гипоксическому воздействию, которое проявляется увеличением SDNN и RMSSD, отражает усиление парасимпатического влияния и оптимизацию автономной регуляции. Полученные нами результаты согласуются с данными, опубликованными P. Chen, в работе которого показано, что гипоксическое воздействие вызывает значимые изменения ВСР и сопровождается перестройкой вегетативной регуляции организма [8]. Сходные тенденции описаны в исследованиях Y. Mao, который доказал, что гипоксия приводит к изменению симпатовагального баланса и снижению общей ВСР на ранних этапах воздействия ИГТ [9]. В то же время, по мере формирования адаптации происходит оптимизация регуляторных механизмов в связи с наличием специфических адаптационных

паттернов ВСР у лиц, длительно проживающих в условиях среднегорья [10]. Согласно классическим представлениям о роли вегетативной нервной системы в обеспечении адаптации к гипоксии, хроническое гипоксическое воздействие приводит к перестройке автономной регуляции и снижению функционального напряжения организма человека [11].

Высокие исходные значения SDNN и RMSSD у студентов I группы, проживающих в условиях среднегорья, свидетельствуют о более высоком уровне автономной регуляции, что может рассматриваться как маркер повышенного адаптационного потенциала. Снижение интегральных показателей у лиц, проживающих в среднегорной местности, отражает не дефицит функциональных резервов, а более экономичное функционирование регуляторных систем организма. Полученные данные следует учитывать при оценке функционального состояния организма, прогнозировании адаптационных возможностей и разработке индивидуализированных программ подготовки и реабилитации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке внутреннего гранта ФГБОУ ВО КБГУ им. Х.М. Бербекова, договор № 49, и программы развития «ПРИОРИТЕТ-2030».

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Financing. The study was conducted with the financial support of an internal grant from KBSU named after H.M. Berbekov (agreement no. 49) within the “Priority 2030” program.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Индивидуальная толерантность к гипоксии: индикаторы, прикладное значение и методы определения / А.А. Венерин, М.А. Запара, А.С. Михалищина [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. – 2025. – Т. 29. – № 1. – С. 57-72. DOI: 10.22363/2313-0245-2025-29-1-57-72.

2. Impact of high-altitude hypoxia on bone defect repair: a review of molecular mechanisms and therapeutic implications / P. Chen, Y. Liu, W. Liu, [et al.] // Frontiers in Medicine. – 2022. – Vol. 9. – P. 842800. DOI: 10.3389/fmed.2022.842800.

3. Зенько, М.Ю. Перекрестная адаптация: от Ф.З. Меерсона до наших дней. Часть 2. механизмы перекрестной адаптации / М.Ю. Зенько, Е.А. Рыбникова // Успехи физиологических наук. – 2022. – Т. 53. – № 4. – С. 62-70. DOI: 10.31857/S0301179822040087.

4. Role of HIF-1α-activated IL-22/IL-22R1/Bmi1 signaling modulates the self-renewal of cardiac stem cells in acute myocardial ischemia / W. Lee, S.L. Lin, C.S. Chiang [et al.] // Stem Cell Reviews and Reports. – 2024. – Vol. 20. – P. 2194-2214. DOI: 10.1007/s12015-024-10774-8.

5. Возможности интервальной гипоксии в терапии пациентов, страдающих хронической обструктивной болезнью легких / Е.С. Булка, В.В. Салухов, Д.В. Ковлен [и др.] // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2023. – Т. 25. – № 3. – С. 455-462. DOI: 10.17816/brmma472101.

6. Скорук, Н.В. Интервальная гипоксия как средство профилактики сердечно-сосудистых заболеваний у людей / Н.В. Скорук, Е.О. Родионов // Фармакоэкономика: теория и практика. – 2023. – Т. 11. – № 2. – С. 49. DOI: 10.30809/phe.2.2023.30.

7. Hypercapnic hypoxia as a rehabilitation method for patients after ischemic stroke / T.M. Alekseeva, M.P. Topuzova, V.P. Kulikov [et al.] // Neurological Research. – 2024. – Vol. 46. – P. 695-705. DOI: 10.1080/01616412.2024.2343510.

8. Hypoxia induces mitochondrial protein lactylation to limit oxidative phosphorylation / Y. Mao, J. Zhang, Q. Zhou [et al.] // Cell Research. – 2024. – Vol. 34. – P. 13-30. DOI: 10.1038/s41422-023-00864-6.

9. Влияние однократной интервальной гипоксической стимуляции на когнитивные функции здоровых добровольцев / А.С. Михалищина, Э.Д. Загайный, Я.В. Васина, О.С. Глазачев // Вестник психофизиологии. – 2023. – № 4. – С. 86-95. DOI: 10.34985/d2699-5404-1619-b.

10. Bae, T. Hypoxia, oxidative stress, and the interplay of HIFs and NRF2 signaling in cancer / T. Bae, S.P. Hallis, M.K. Kwak // Experimental & Molecular Medicine. – 2024. – Vol. 56. – P. 501-514. DOI: 10.1038/s12276-024-01180-8.

11. Hypoxia and brain aging: neurodegeneration or neuroprotection? / J. Burtscher, R.T. Mallet, M. Burtscher, G.P. Millet // Ageing Research Reviews. – 2021. – Vol. 68. – P. 101343. DOI: 10.1016/j.arr.2021.101343.

REFERENCES

1. Venerin A.A., Zapara M.A., Mikhalishchina A.S., Pupo Macharashvili D., Glazachev O.S. Individual tolerance to hypoxia: indicators, application and methods of determination. *RUDN Journal of Medicine*, 2025, vol. 29, no. 1, pp. 57-72. DOI: 10.22363/2313-0245-2025-29-1-57-72. (in Russ.)

2. Chen P., Liu Y., Liu W. et al. Impact of high-altitude hypoxia on bone defect repair: a review of molecular mechanisms and therapeutic implications. *Frontiers in Medicine*, 2022, vol. 9, p. 842800. DOI: 10.3389/fmed.2022.842800.

3. Zenko M.Yu. et al. Cross-Adaptation: From F.Z. Meerson to the Modern State of the Problem. Part 2.

Mechanisms of Cross-Adaptation. *Progress in Physiological Science*, 2022, vol. 53, no. 4, pp. 4-23. DOI: 10.31857/S0301179822040087. (in Russ.)
4. Lee W., Lin S.L., Chiang C.S. et al. Role of HIF-1α-activated IL-22/IL-22R1/Bmi1 signaling modulates the self-renewal of cardiac stem cells in acute myocardial ischemia. *Stem Cell Reviews and Reports*, 2024, vol. 20, pp. 2194-2214. DOI: 10.1007/s12015-024-10774-8.
5. Bulka E.S., Salukhov V.V., Kovlen D.V. et al. Possibilities of interval hypoxia in the treatment of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2023, vol. 25, no. 3, pp. 455-462. DOI: 10.17816/brmma472101. (in Russ.)
6. Skoruk N.V., Rodionov E.O. Intermittent hypoxia as a preventive measure against cardiovascular disease in humans. Pharmacoeconomics: theory and practice, 2023, vol. 11, no. 2, p. 49. DOI: 10.30809/phe.2.2023.30. (in Russ.)
7. Alekseeva T.M., Topuzova M.P., Kulikov V.P. et al. Hypercapnic hypoxia as a rehabilitation method for patients after ischemic stroke. *Neurological Research*, 2024, vol. 46, pp. 695-705. DOI: 10.1080/01616412.2024.2343510.
8. Mao Y., Zhang J., Zhou Q. et al. Hypoxia induces mitochondrial protein lactylation to limit oxidative phosphorylation. *Cell Research*, 2024, vol. 34, pp. 13-30. DOI: 10.1038/s41422-023-00864-6.
9. Mikhalishchina 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, no. 4, pp. 86-95. DOI: 10.34985/d2699-5404-1619-b. (in Russ.)
10. Bae T., Hallis S.P., Kwak M.K. Hypoxia, oxidative stress, and the interplay of HIFs and NRF2 signaling in cancer. *Experimental & Molecular Medicine*, 2024, vol. 56, pp. 501-514. DOI: 10.1038/s12276-024-01180-8.
11. Burtscher J., Mallet R.T., Burtscher M., Millet G.P. Hypoxia and brain aging: neurodegeneration or neuroprotection? *Ageing Research Reviews,* 2021, vol. 68, pp. 101343. DOI: 10.1016/j.arr.2021.101343.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Асият Гисаевна Шокуева – старший преподаватель кафедры нормальной и патологической физиологии человека Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: schokueva@yandex.ru.
Ирина Хасанбиевна Борукаева – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой нормальной и патологической физиологии человека Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: irborukaeva@yandex.ru.
Татьяна Борисовна Кипкеева – старший преподаватель кафедры нормальной и патологической физиологии человека Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: kipkeevatatyana70@mail.ru.
Фатима Валерьевна Шаваева – кандидат биологических наук, доцент кафедры нормальной и патологической физиологии человека Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: shavaevafv@mail.ru.
Лейла Казымовна Шерхова – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, геоэкологии и молекулярно-генетических основ живых систем Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: sherhova_l@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Asiyat G. Shokueva – Senior Lecturer of the Department of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: schokueva@yandex.ru.
Irina Kh. Borukaeva – Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: irborukaeva@yandex.ru.
Tatyana B. Kipkeeva – Senior Lecturer of the Department of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: kipkeevatatyana70@mail.ru.
Fatima V. Shavaeva – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: shavaevafv@mail.ru.
Leila K. Sherkhova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biology, Geoecology and Molecular-Genetic Foundations of Living Systems of the Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: sherhova_l@mail.ru.

Для цитирования: Сравнительная характеристика адаптационных изменений вегетативной нервной системы при интервальной гипоксической тренировке у лиц, проживающих в различных климатогеографических условиях / А.Г. Шокуева, И.Х. Борукаева, Т.Б. Кипкеева [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_21

For citation: Shokueva A.G., Borukaeva I.Kh., Kipkeeva T.B., Shavaeva F.V., Sherkhova L.K. Comparative characteristics of adaptive changes in the autonomic nervous system during interval hypoxic training in individuals living in different climatic and geographical conditions. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_21