

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ И ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У СПОРТСМЕНОВ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ГИПОКСИЧЕСКИ-ГИПЕРКАПНИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Е.Р. Бойко¹, boiko60@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8027-898X>

И.О. Гарнов^{1,2}, 5665552@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2604-2773>

А.Л. Максимов¹, arkmax@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1089-4266>

¹ Институт физиологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия

² Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, Сыктывкар, Россия

Аннотация. Цель: изучить особенности функциональных перестроек у высококвалифицированных лыжников-гонщиков в сравнении со здоровыми студентами и оценить уровень информативности функциональных показателей, используемых при расчете индекса гипоксически-гиперкапнической устойчивости (ИГУ). **Материалы и методы.** Выборка состояла из 32 мужчин: 14 студентов отделения «Физическая культура» в возрасте $19,3 \pm 0,3$ года, индекс массы тела (ИМТ) $24,4 \pm 1,0$ кг/м², и 18 профессиональных лыжников-гонщиков, члены сборных команд РФ, в возрасте $22,0 \pm 1,2$ года, ИМТ – $23,0 \pm 0,4$ кг/м². Использовалась проба с ререспирацией без поглощения CO₂. До и после ререспирации измеряли частоту сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), газоанализатором содержание в мешке дыхательного контура O₂, CO₂ и пальцевым пульсоксиметром уровень сатурации гемоглобина кислородом (SpO₂). **Результаты.** Установлено, что устойчивость организма к нарастающему гипоксически-гиперкапническому воздействию можно количественно оценивать на основании разработанного индекса гипоксической устойчивости (ИГУ). На основании факторного анализа показано, что у элитных лыжников-гонщиков уровень устойчивости к сочетанному действию острой гипоксии и гиперкапнии зависит не только от показателей газообмена и кардиогемодинамики, но и от ИМТ. **Заключение.** Исследование функционального ответа кардиогемодинамики и газообмена на пробу с ререспирацией позволило подтвердить информативность предложенной технологии экспресс-оценки устойчивости организма к сочетанному воздействию недостатка O₂ и избытка CO₂. Это открывает возможности индивидуального контроля функционального состояния спортсмена на основе индекса гипоксически-гиперкапнической устойчивости.

Ключевые слова: лыжники-гонщики, ререспирация, устойчивость к гипоксии и гиперкапнии, газообмен

Для цитирования: Бойко Е.Р., Гарнов И.О., Максимов А.Л. Оценка информативности и взаимосвязей функциональных показателей у спортсменов с различным уровнем гипоксически-гиперкапнической устойчивости // Человек. Спорт. Медицина. 2026. Т. 26, № 3. С. 75–83. DOI: 10.14529/hsm260309

DIAGNOSTIC VALUE AND INTERRELATIONSHIPS OF FUNCTIONAL PARAMETERS IN ATHLETES WITH DIFFERENT LEVELS OF HYPOXIC-HYPERCAPNIC TOLERANCE

E.R. Boyko¹, boiko60@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8027-898X>

I.O. Garnov^{1,2}, 5665552@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2604-2773>

A.L. Maksimov¹, arkmax@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1089-4266>

¹ Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

² Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

Abstract. Aim. This paper aims to investigate the features of functional adaptations in highly skilled cross-country skiers compared to healthy students and to evaluate the diagnostic value of functional parameters used in calculating the hypoxic-hypercapnic tolerance index. **Materials and methods.** This paper involved 32 male participants, including 14 physical education university students (mean age: 19.3 ± 0.3 years; mean BMI: 24.4 ± 1.0 kg/m²) and 18 highly skilled cross-country skiers from the Russian national teams (mean age: 22.0 ± 1.2 years; mean BMI: 23.0 ± 0.4 kg/m²). The rebreathing test without CO₂ absorption was used. Heart rate (HR), blood pressure (BP), O₂ and CO₂ content in the breathing circuit bag (measured by a gas analyzer), and hemoglobin oxygen saturation (measured by a finger pulse oximeter) were obtained at baseline and after rebreathing. **Results.** Body tolerance to progressive hypoxic-hypercapnic exposure can be quantified using the newly developed hypoxic tolerance index. Factor analysis demonstrated that, in elite cross-country skiers, tolerance to combined acute hypoxia and hypercapnia depends on gas exchange and cardiovascular hemodynamics, as well as BMI. **Conclusion.** The functional response of cardiovascular hemodynamics and gas exchange to the rebreathing test confirmed the diagnostic value of the proposed express assessment of body tolerance to combined O₂ deficiency and CO₂ excess exposure. This enables individual functional monitoring in athletes using the hypoxic-hypercapnic tolerance index.

Keywords: cross-country skiers, respiration, tolerance to hypoxia and hypercapnia, gas exchange

For citation: Boyko E.R., Garnov I.O., Maksimov A.L. Diagnostic value and interrelationships of functional parameters in athletes with different levels of hypoxic-hypercapnic tolerance. *Human. Sport. Medicine*. 2026;26(3):75–83. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm260309

Введение. Разработка интегральных маркеров оценки устойчивости организма к сочетанному действию гипоксии и гиперкапнии остается важным направлением не только в фундаментальных исследованиях изучения физиологических механизмов обеспечения этих состояний, но и в прикладных аспектах оценки функциональных резервов спортсменов. В абсолютном большинстве случаев при исследованиях воздействия недостатка кислорода на организм используются специальные газовые смеси или подъемы человека на высоту в барокамерах и натурных горных условиях. В то же время существуют методы, когда организм способен сам формировать гипоксически-гиперкапническую среду, возникающую в процессе ререспирации без поглощения углекислого газа [2, 4].

Ранее проводимыми нами исследованиями была показана информативность пробы

с ререспирацией для оценки устойчивости к гипоксии, гиперкапнии и холоду [1, 5]. Однако до настоящего времени остается открытым вопрос, как связан уровень спортивного мастерства с гипоксически-гиперкапнической устойчивостью. С целью решения этого вопроса было проведено исследование функциональных перестроек у высококвалифицированных лыжников-гонщиков относительно практически здоровых лиц, не имеющих спортивных разрядов, ведущих активный образ жизнедеятельности с оценкой уровня информативности показателей, используемых при расчете ИГУ.

Объект и методы исследования. Исследования проводились в помещении с температурой воздуха в пределах $23 \pm 1,5$ °C с 9:30 до 12:30 в будние дни. Выборка состояла из 32 мужчин: 14 студентов Сыктывкарского колледжа отделения «Физическая культура» в возрасте $19,3 \pm 0,3$ года, ИМТ $24,4 \pm 1,0$ кг/м²

(группа 1). Вторая группа состояла из 18 профессиональных лыжников – членов сборных команд России по лыжным гонкам, 7 из них являлись КМС, 11 – МС в возрасте $22,0 \pm 1,2$ года, ИМТ – $23,0 \pm 0,4$ кг/м². Для расчета ИМТ применяли формулу Кетле, а длину и массу тела спортсменов измеряли с помощью системы ACCUNIQ BC380 (Южная Корея). Для проведения пробы ререспирации, без поглощения CO₂ и оценкой уровня гипоксически-гиперкапнической устойчивости, был использован ранее разработанный способ, описанный в журнальных публикациях [1, 6]. Для измерения показателей потребляемого O₂ и содержания CO₂ в выдыхаемом воздухе до начала пробы и в дыхательном мешке сразу после ее окончания использовался отечественный газоанализатор «НПК «Карбоник». Показатели артериального давления измеряли прибором AND, модель UA-777 (Япония), в фоне и пике пробы (конец 3-й минуты ререспирации). В эти же периоды пальцевым пульсоксиметром MD 300M (США) регистрировался уровень оксигенации крови (SpO₂%). Исходя из полученных показателей газообмена и гемодинамики, рассчитывалась для каждого обследуемого величина его ИГУ. При этом ИГУ = $(O_{2p-p} \div CO_{2p-p}) \cdot (SpO_{2p-p} \div SpO_{2фон}) \cdot (HR_{фон} \div HR_{p-p})$, где показатели с обозначением p-p, – это значения на пике ререспирации, а с обозначением фон – соответствовали состоянию до начала пробы.

Результаты подвергнуты статистической обработке с применением пакета прикладных программ Statistica (версия 8.0, Statsoft Inc.). Проверка на нормальность распределения переменных осуществлялась на основе теста Шапиро – Уилка. В случае ненормальности распределения выборки данные представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25 и 75 квартилей, а в случае нормального распределения – как среднее значение и его ошибка ($M \pm m$). Для расчета статистической значимости различий между группами применялся метод попарного сравнения – критерий Манна – Уитни, проведен корреляционный анализ по Спирмену и дисперсионный факторный анализ методом главных компонент и главных факторов [3, 8]. Различия считались статистически значимыми при уровне $p \leq 0,05$.

Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г., и одобрены локальным этическим комитетом ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар (протокол от 15.11.2022 г.). Каждый участник после разъяснения ему потенциальных рисков, преимуществ и характера предстоящего исследования подписывал добровольное письменное согласие.

Результаты. В табл. 1 представлены морфометрические и функциональные показатели в покое (фон) и по окончании ререспирации.

Таблица 1
Table 1

Показатели по группам в покое и по окончании ререспирации (Me, 25;75Q)
Parameters by group at baseline and after rebreathing (Me, 25;75Q)

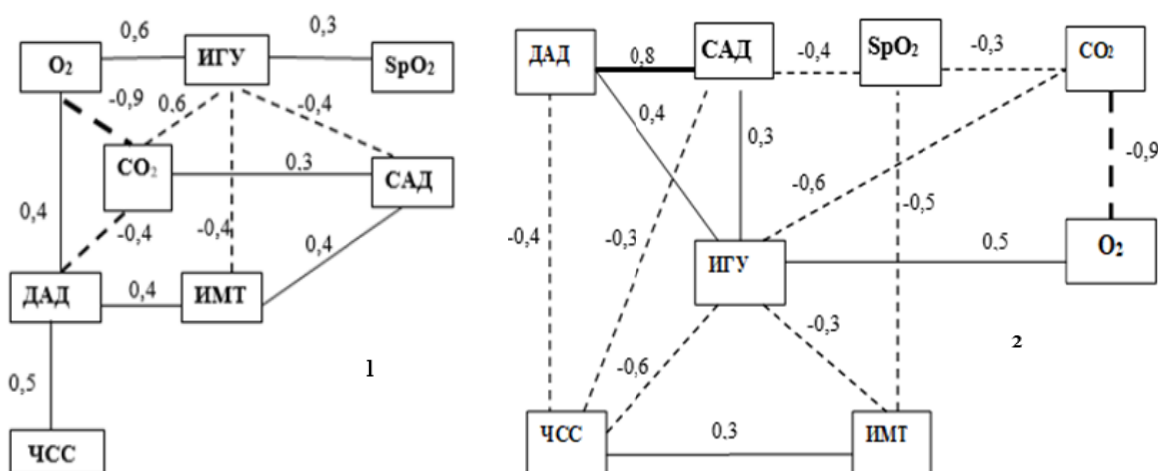
Изучаемые показатели Parameter	Лыжники-гонщики Cross-country skiers		Студенты University students		Различия (p) между показателями по окончании пробы p-value (post-test differences)
	Фон Baseline	Окончание пробы Post-test	Фон Baseline	Окончание пробы Post-test	
SpO ₂ , %	98,0 (98,0; 98,0)	94,0 (94,0; 96,0)	98,0 (97,0; 99,0)	91,0 (88,3; 93,7)	0,000
O ₂ , %	17,4 (17,3; 17,3)	11,7 (11,3; 12,1)	17,0 (16,5; 17,8)	9,4 (8,7; 10,6)	0,000
CO ₂ , %	3,0 (2,9; 2,9)	7,8 (7,5; 8,1)	3,3 (2,6; 3,7)	9,7 (8,9; 10,3)	0,000
ЧСС, уд./мин HR, bpm	62,0 (60,0; 60,0)	66,0 (59,5; 72,0)	64,0 (58,5; 70,5)	86,5 (71,2; 89,7)	0,002
САД, мм рт. ст. SBP, mmHg	120,0 (119; 119,5)	126,0 (105,5; 134,5)	116,5 (113,5; 120,0)	130,5 (116,2; 138,3)	0,5
ДАД, мм рт. ст. DBP, mmHg	63,0 (62,5; 62,5)	60,0 (56,0; 66,5)	66,0 (57,5; 71,7)	65,0 (59,2; 67,7)	0,3
ИГУ, ед. HTI, a. u.	–	1,3 (1,2; 1,6)	–	0,7 (0,9; 0,8)	0,000

В состоянии покоя отсутствуют статистические различия между показателями.

Как следует из табл. 1, по окончании респирации между всеми показателями в группах наблюдались статистически значимые различия. Так, у лыжников относительно студентов уровень SpO_2 и значение O_2 оказались выше на 5 и 20 % соответственно, а содержание CO_2 было ниже на 20 %. При этом ЧСС у студентов по окончании пробы оказалась на 31 % выше, чем у лыжников. Однако статистически значимого изменения САД и ДАД между обследуемыми группами не наблюдалось. Выявленные особенности в показателях газообмена и ЧСС в процессе респирации связаны с более высокой гипоксической устойчивостью лыжников, где одним из физиологических механизмов, влияющих на функциональные перестройки, является снижение чувствительности хеморецепторов к уровню O_2 и CO_2 [9]. Известно, что при сочетанном влиянии на организм гипоксии и гиперкапнии в регуляторный процесс активно включаются центральные и периферические хеморецепторы. При этом центральные хеморецепторы стволовой части мозга чувствительны к изменениям CO_2 в крови через рН межклеточной жидкости и имеют полисинаптические нервные входы от каротидных синусов. Периферические рецепторы дуги аорты, наоборот, чувствительны к уровню O_2 в крови и при возрастании CO_2 обеспечивает вазодилатационный эффект с возможным понижением АД. Подчеркнем, что выявленные при респирации

статистически значимые различия в функциональных показателях вместе с тем не позволяли оценить степень и характер их взаимосвязи между собой, что потребовало проведения корреляционного анализа. На рис. 1 представлены корреляционные матрицы, отражающие взаимосвязи между показателями сразу по окончании респирации. При этом использовались только статистически значимые коэффициенты, соответствующие уровням средних и сильных взаимосвязей от 0,3 и выше (см. рисунок).

Количество связей какого-либо показателя отражает его информативность и значимость в структуре корреляционной плеяды, в этом случае ИГУ обладает наибольшей информативностью относительно других показателей. Интересным аспектом, отличающим структуру корреляционной плеяды у лыжников-гонщиков, является наличие у них всего по одной связи SpO_2 и ЧСС с другими показателями, в то время как у студентов эти же самые характеристики имели соответственно по 3 и 4 взаимосвязи. Отметим, что у студентов SpO_2 не коррелирует с ИГУ, а ЧСС с этим же показателем имеет статистически значимый отрицательный коэффициент при $R_s = -0,6$, указывающий, что с увеличением ЧСС величина ИГУ уменьшается, отражая снижение устойчивости организма к гипоксии. При этом чем выше уровень O_2 в мешке по окончании респирации, тем ниже там содержание CO_2 , что отражается отрицательными коэффициентами корреляции между этими показателями.



Матрицы структуры и значений корреляционных взаимосвязей показателей у лыжников-гонщиков (1) и студентов (2) по окончании выполнения пробы с респирацией: полужирными линиями выделены сильные связи, обычными – средние; пунктиром – отрицательные, сплошными – положительные связи
Matrices of the structure and values of correlations among parameters in cross-country skiers (1) and university students (2) after completion of the rebreathing test: bold lines indicate strong correlations; regular lines indicate moderate correlations; dotted lines indicate negative correlations; and solid lines indicate positive correlations

В обеих группах также наблюдается отрицательная корреляционная зависимость между ИМТ и ИГУ, показывающая, что с увеличением массы тела гипоксическая устойчивость уменьшается. Несмотря на то, что корреляционный анализ позволяет определять характер и силу взаимосвязей между показателями, вопрос количественной оценки вклада каждого показателя в структуре функциональной системы оставался открытым, что мы попытались решить, применив дисперсионный факторный анализ, используя метод главных компонент и главных факторов [7, 8].

Для определения удельной значимости показателей и рангов факторов в обследуемых группах использовался дисперсионный фак-

торный анализ методом главных компонент и максимального правдоподобия, при этом факторы с величинами накопленной дисперсии менее 10 % относительно предыдущего значения согласно требованиям математического анализа не учитывались [3]. Результаты факторного анализа для лыжников и студентов представлены в табл. 2, 3.

Как следует из табл. 2, в группе лыжников максимальная накопленная дисперсия приходится на первые три фактора, составляя в сумме 77,6 %, что позволяло ожидать проявления сильных статистически значимых корреляционных связей с коэффициентами 0,7 и более между этими факторами и функциональными показателями, что представлено

Таблица 2
Table 2

Собственные значения главных компонент дисперсий факторов
в группе лыжников и студентов
Eigenvalues of principal components of factor variances in skiers and students

Факторы Factors	Собственные числа Eigenvalues	% от общей дисперсии % Total variance	Кумулятивные значения Cumulative eigenvalue	Накопленная дисперсия в % Cumulative variance in %
I	3,1 / 3,0	38,2 / 37,7	3,1 / 3,0	38,2 / 37,7
II	1,9 / 2,1	23,3 / 26,6	4,9 / 5,1	61,5 / 64,2
III	1,3 / 1,3	16,1 / 16,1	6,2 / 6,4	77,6 / 80,4
IV	1,0 / 0,7	12,2 / 8,6	7,2 / 7,1	89,9 / 89,0

Примечание: в числителе – значения лыжников, в знаменателе – студентов.

Note: values for skiers are shown in the numerator, values for students are shown in the denominator.

Таблица 3
Table 3

Значения рангов и коэффициентов корреляций дисперсии факторных нагрузок
показателей в группе лыжников и студентов
Ranks and correlation coefficients of factor-loading variances in skiers and students

Функциональные показатели Functional parameter	Фактор I Factor I	Фактор II Factor II	Фактор III Factor III	Фактор IV Factor IV
ИМТ, м ² / BMI, m ²	0,18/0,50	0,73 /–0,42	–0,37/0,57	–0,17/0,08
SpO ₂ , %	–0,32/–0,65	–0,19/0,31	0,72 /–0,45	–0,46/–0,42
O ₂ , %	–0,96 /–0,76	0,10/0,21	–0,21/0,57	–0,03/0,01
CO ₂ , %	0,96 /0,86	–0,10/–0,16	0,21/–0,43	0,03/0,07
ЧСС, уд./мин / HR, bpm	–0,33/ 0,54	0,41/0,34	0,71 /0,48	0,45/–0,52
САД, мм рт. ст. / SBP, mmHg	0,39/–0,06	0,50/– 0,91	0,16/0,03	–0,65/–0,08
ДАД, мм рт. ст. / DBP, mmHg	–0,45/–0,19	0,84 /– 0,84	0,04/–0,07	0,07/–0,042
ИГУ, ед. / HTI, a. u.	–0,79 /– 0,83	–0,40/–0,35	–0,11/0,06	–0,33/0,20
Общая дисперсия по факторам Total variance by factor	3,05/3,01	1,86/0,21	1,29/1,29	0,98/0,69

Примечание: в числителе – значения лыжников, в знаменателе – студентов; полужирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции ($R \geq 0,7$), отражающие сильные взаимосвязи между факторами и функциональными показателями.

Note: values for skiers are shown in the numerator, values for students are shown in the denominator. Statistically significant correlation coefficients ($R \geq 0,7$) are given in bold and indicate strong correlations between factors and functional parameters.

в табл. 3. Оказалось, что в первый по рангу фактор входят как у лыжников, так и у студентов три показателя: O_2 , CO_2 и ИГУ с коэффициентами больше 0,7. Во второй фактор у лыжников входят ИМТ и ДАД, а у студентов – только значения САД и ДАД. Третий фактор у лыжников формируется за счет статистически значимых коэффициентов SpO_2 и ЧСС, а у студентов 3-й фактор не выявляется, так как все коэффициенты там ниже 0,7. Аналогичная картина у обследуемых лиц наблюдается и для 4-го фактора. Таким образом, для лыжников существенными являются только 1–3-й факторы, а для студентов – 1-й и 2-й. Исходя из значений статистически значимых коэффициентов корреляций, отражающих сильные взаимосвязи факторов с функциональными показателями при значениях 0,7 и более без учета знака, были рассчитаны в % удельные веса факторов и отдельных показателей их составляющих (табл. 4).

При этом сумма всех высокосignальных коэффициентов корреляции первого фактора (см. табл. 3) в группе лыжников составляла 2,72 ед., что соответствовало 38,2 % от общей накопленной дисперсии, представленной в

табл. 2. В этом случае согласно пропорции, где 2,72 – это 38,2 %, а 0,96 – X, удельный вес показателя кислорода с коэффициентом 0,96 составлял 13,5 %. Аналогично рассчитываются значения и для других показателей с учетом уже их процентного значения от общей дисперсии. Оказалось, что в группе лыжников наибольшей информативностью при ререспирации обладают 13 показателей, составляющих 3 фактора, а у студентов – 8, входящих в 2 фактора. Следует подчеркнуть, что в обеих группах в первый фактор входили одинаковые показатели с близкими удельными весами, что отражало их высокую информативность при оценке гипоксически-гиперкапнической устойчивости вне зависимости от наличия или отсутствия у обследуемых высоких спортивных разрядов. Отметим, что у студентов в состав второго фактора входили только показатели АД, в то время как у спортсменов там был ИМТ с достаточно высоким удельным весом 19,3 %, а совокупное значение этого фактора составляло 26,6 %, что на 9,7 % превышало значение второго фактора в группе студентов. Таким образом, полученные результаты позволяют подойти к возможности

Таблица 4
Table 4

Удельные значения показателей факторного дисперсионного анализа
в обследуемых группах по окончании пробы с ререспирацией
Specific values of factorial ANOVA parameters in the study groups after the rebreathing test

Ранг фактора и его удельный вес, % Factor rank and contribution, %	Показатели, входящие в фактор Parameters included in the factor	Удельное значение показателя в структуре фактора, % Factor loading of the parameter, %
Лыжники-гонщики / Cross-country skiers		
1 (38,2)	O_2	13,5
	CO_2	13,5
	ИГУ / HTI	11,2
2 (36,3)	ИМТ / BMI	17,0
	ДАД / DBP	19,3
3 (16,1)	SpO_2	8,1
	ЧСС / HR	8,0
90,6		90,6
Студенты / Students		
1 (37,7)	O_2	11,7
	CO_2	13,2
	ИГУ / HTI	12,8
2 (26,6)	САД / SBP	13,8
	ДАД / DBP	12,8
64,3		64,3

Примечание: полужирными цифрами показаны суммарные значения факторов и удельные веса показателей их составляющих.

Note: bold numbers indicate the total factor values and the specific weights of their constituent components.

количественной оценки отдельных показателей, включая ИГУ, и в целом совокупного удельного веса конкретных факторов с учетом их ранговой значимости.

Заключение. Проведенные исследования профессиональных лыжников-гонщиков и студентов с оценкой функционального ответа их организма на ререспирацию и использование специальных методов математического анализа позволили подтвердить информативность разработанной технологии и предложенной формулы для индивидуальной типизации лиц по уровню их устойчивости к гипоксически-гиперкапническому воздействию. При этом выявлено, что корреляционный анализ не дает возможности количественной оценки информативности показателей плеяды и в определенных случаях может приводить к парадоксальным выводам. Так, в группе профессиональных лыжников, согласно корреляционному анализу, показатели SpO_2 и ЧСС могли бы быть оценены как малозначимые в связи с тем, что имели только по 1 взаимосвя-

зи в общей структуре матрицы. Однако факторный анализ показал, что это не так и эти показатели составляют 3-й фактор с удельным весом 16,1 %, в то время как у студентов они не входят в структуру факторов, хотя имели в матрице по 3 и 4 корреляционных взаимосвязи. Таким образом, на основе факторного анализа удастся не только минимизировать число исследуемых показателей и количественно определить их уровень информативности, но и показать, что устойчивость организма к нарастающему гипоксическому и гиперкапническому воздействию у высокотренированных спортсменов-лыжников зависит не только от показателей газообмена и кардиогемодинамики, но и от ИМТ. Возможности количественной оценки удельного веса факторов и показателей их составляющих открывают возможности индивидуального контроля функционального состояния спортсмена в процессе тренировочного периода на основе динамики изменений его индекса гипоксически-гиперкапнической устойчивости.

Список литературы

1. Аверьянова, И.В. Адаптивные особенности перестройки кардиогемодинамики и газообмена при тестирующей нагрузке у молодых уроженцев Севера различных поколений / И.В. Аверьянова, А.Л. Максимов // Сибир. науч. мед. журнал. – 2023 – № 43 (4). – С. 55–64. DOI: 10.18699/SSMJ20230405
2. Агаджанян, Н.А. Человек в условиях гипоксии и гиперкапнии / Н.А. Агаджанян, И.Н. Полунин, В.К. Степанов. – Астрахань – Москва, 2001. – 340 с.
3. Леденёва, М.В. Факторный анализ инновационной активности организаций в РФ / М.В. Леденева, Н.А. Мишура // Теоретич. и приклад. экономика. – 2020. – № 4. – С. 95–105. DOI: 10.25136/2409-8647.2020.4.34785
4. Малеев, Д.О. Применение средств респираторной гипоксической-гиперкапнической нагрузки в подготовке лыжников-гонщиков высокой квалификации / Д. О. Малеев // Человек. Спорт. Медицина. – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 13–17.
5. Максимов, А.Л. Состояние микроциркуляции при локальном холодом воздействии и влияние тренировок с ререспирацией / А.Л. Максимов, А.В. Харин // Морфология. – 2018. – Т. 135, № 2. – С. 31–36.
6. Максимов, А.Л. Перестройки вариабельности кардиоритма у лиц с различными исходными типами вегетативной регуляции в процессе ререспирации / А.Л. Максимов, И.В. Аверьянова // Рос. физиол. журнал им. И.М. Сеченова. – 2016. – Т. 102, № 5. – С. 606–617.
7. Машин, В.А. Методические вопросы использования факторного анализа на примере спектральных показателей сердечного ритма / В.А. Машин // Эксперимент. психология. – 2010 – Т. 3, № 4. – С. 119–138.
8. Myers, N.D. Sample size and power estimates for a confirmatory factor analytic model in exercise and sport: a Monte Carlo approach / N.D. Myers, S. Ahn, Y. Jin // Res Q Exerc. Sport. – 2011 – Vol. 82 (3). – P. 412–423. DOI: 10.1080/02701367.2011.10599773. PMID: 21957699.
9. Tomiak, T. Training-related modulations of the respiratory hypoxic and hypercapnic response sensitivity in young elite endurance athletes / T. Tomiak, O. Lusenko, V. Mishchenko // Balt J Health Phys Act. – 2017. – Vol. 9 (4). – P. 7–21. DOI: 10.29359/BJHPA.09.4.01

References

1. Averianova I.V., Maksimov A.L. [Adaptive Features of the Restructuring of Cardiohemodynamics and Gas Exchange under a Test Load in Young Natives of the North of Different Generations]. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal* [Siberian Scientific Medical Journal], 2023, no. 43 (4), pp. 55–64. (in Russ.) DOI: 10.18699/SSMJ20230405
2. Agadzhanian N.A., Polunin I.N., Stepanov V.K. *Chelovek v usloviyakh gipokapnii i giperkapnii* [Man in Conditions of Hypocapnia and Hypercapnia]. Astrakhan – Moscow, 2001. 340 p.
3. Ledeneva M.V., Mishura N.A. [Factor Analysis of Innovative Activity of Organizations in the Russian Federation]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekonomika* [Theoretical and Applied Economics], 2020, no. 4, pp. 95–105. (in Russ.) DOI: 10.25136/2409-8647.2020.4.34785
4. Maleev D.O. Use of Respiratory Hypoxic-hypercapnic Load in the Training of Highly Qualified Cross-country Skiers. *Human. Sport. Medicine*, 2016, vol. 16, no. 1, pp. 13–17. (in Russ.)
5. Maksimov A.L., Kharin A.V. [The State of Microcirculation During Local Cold Exposure and the Effect of Training with Rebreathing]. *Morfologiya* [Morphology], 2018, vol. 135, no. 2, pp. 31–36. (in Russ.)
6. Maksimov A.L., Averianova I.V. [Restructuring of Heart Rate Variability in Individuals with Different Initial Types of Autonomic Regulation During Respiration]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova* [I.M. Sechenov Russian Physiological Journal], 2016, vol. 102, no. 5, pp. 606–617. (in Russ.)
7. Mashin V.A. [Methodological Issues of Using Factor Analysis Using Spectral Indices of Heart Rate]. *Ekspperimental'naya psikhologiya* [Experimental Psychology], 2010, vol. 3, no. 4, pp. 119–138. (in Russ.)
8. Myers N.D., Ahn S., Jin Y. Sample Size and Power Estimates for a Confirmatory Factor Analytic Model in Exercise and Sport: a Monte Carlo Approach. *Research Q Exerc. Sport.*, 2011, vol. 82 (3), pp. 412–423. DOI: 10.1080/02701367.2011.10599773
9. Tomiak T., Lusenko O., Mishchenko V. Training-related Modulations of the Respiratory Hypoxic and Hypercapnic Response Sensitivity in Young Elite Endurance Athletes. *Balt Journal Healthcare Physical Act.*, 2017, vol. 9 (4), pp. 7–21. DOI: 10.29359/BJHPA.09.4.01

Информация об авторах

Бойко Евгений Рафаилович, доктор медицинских наук, профессор, директор, Институт физиологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия.

Гарнов Игорь Олегович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт физиологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия; кафедра теоретических и медико-биологических основ физической культуры, Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, Сыктывкар, Россия.

Максимов Аркадий Леонидович, доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Институт физиологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия.

Information about the authors

Evgeny R. Boyko, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director, Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia.

Igor O. Garnov, Candidate of Biological Sciences, Senior researcher, Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia; Department of Theoretical and Biomedical Foundations of Physical Education, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia.

Arkadiy L. Maksimov, Doctor of Medical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; Chief Researcher, Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia.

Вклад авторов:

Бойко Е. Р. – разработка концепции и организация исследований.

Гарнов И.О. – проведение пробы с ререспирацией, статистическая обработка материала.

Максимов А.Л. – анализ и интерпретация полученных результатов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

Boyko E.R. – study conceptualization; research administration.

Garnov I.O. – conducting the rebreathing test, statistical data processing.

Maksimov A.L. – analysis and the interpretation of the obtained results.

The authors declare no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 02.04.2026

The article was submitted 02.04.2026