Дата публикации: 01.12.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_14
УДК/UDC: [612.223:612.8+612.223:612.13]797.5

Publication date: 01.12.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_14

ВЛИЯНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ГИПОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ И ГЕМОДИНАМИКУ У СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПО КУПОЛЬНОЙ ПАРАШЮТНОЙ АКРОБАТИКЕ

М.А. Попова, И.В. Мыльченко, В.В. Чистова, А.С. Лакомкина
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный педагогический университет», г. Сургут, Россия

Аннотация. Целью исследования явилось изучение влияния кратковременной гипобарической гипоксии (4-5 мин) на функциональные показатели центральной нервной системы (ЦНС) и гемодинамику у 8 спортсменов-парашютистов высокой квалификации в период тренировок по купольной акробатике. Сатурацию кислорода (SaO_2) измеряли перед тренировкой, на высоте 2800-3000 м перед прыжком и сразу после приземления. До тренировки и сразу после приземления определяли: время простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР), функциональный уровень системы (ФУС), устойчивость реакции (УР), уровень функциональных возможностей (УФВ); пульс, систолическое (САД) и диастолическое артериальное давление (ДАД), центральное систолическое аортальное давление (цСАД). С помощью программы Statistica 13.3 рассчитывали медиану (Me), 25-й и 75-й перцентили (Q_{25}, Q_{75}). Динамику показателей оценивали по критерию Вилкоксона (W). Корреляцию SaO_2 с показателями нейро- и гемодинамики определяли по критерию Спирмена (R). Результаты исследования показали, что кратковременное снижение SaO_2 в пределах 87-92% на высоте 2800-3000 м при тренировках по купольной акробатике коррелирует с увеличением скорости ПЗМР и пульса, но не влияет существенно на уровень САД, ДАД и цСАД. Оптимальный уровень функционирования ЦНС у спортсменов-парашютистов зарегистрирован после повторного воздействия гипобарической гипоксии в тренировочный день.

Ключевые слова: гипобарическая гипоксия, сатурация кислорода, парашютисты, купольная акробатика, спорт высоких достижений, функциональное состояние, центральная нервная система, психомоторные реакции, нейродинамика, гемодинамика, пульс, центральное систолическое аортальное давление, периферическое артериальное давление.

INFLUENCE OF SHORT-TERM HYPOBARIC HYPOXIA ON THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM AND HEMODYNAMICS IN ELITE CANOPY FORMATION SKYDIVERS

M.A. Popova, I.V. Mylchenko, V.V. Chistova, A.S. Lakomkina
Surgut State Pedagogical University, Surgut, Russia

Annotation. The purpose of the work was to study the effect of short-term hypobaric hypoxia (4-5 min) on the functional indices of the central nervous system (CNS) and hemodynamics in 8 elite skydivers during training in canopy formation. Oxygen saturation (SaO_2) was measured before exercise, at an altitude of 2800-3000 m before the jump and immediately after landing. Before training and immediately after landing, the following were identified: time of simple visual-motor reaction (SVMR), system functional level (SFL), reaction stability (RS), level of functional capabilities (LFC); pulse, systolic (sBP) and diastolic blood pressure (dBP), central systolic blood pressure (cSBP). Using the Statistica 13.3 software, the median (Me), 25^{th} and 75^{th} percentiles (Q_{25}, Q_{75}) were calculated. The changes in the indices were assessed using the Wilcoxon signed-rank test (W). The correlation of SaO_2 with neuro- and hemodynamic indices was identified using the Spearman test (R). The results revealed that a short-term decrease in SaO_2 within the range of 87-92% at an altitude of 2800-3000 m during training in canopy formation correlates with an increase in the speed of psychomotor response and heart rate, but

does not significantly affect the level of peripheral and central blood pressure. The optimal level of central nervous system function in skydivers was recorded after repeated exposure to hypobaric hypoxia on a training day.

Keywords: hypobaric hypoxia, oxygen saturation, skydivers, canopy formation, high performance sports, functional state, central nervous system, psychomotor responses, neurodynamics, hemodynamics, pulse, central systolic aortic pressure, peripheral blood pressure.

Введение. Повышение эффективности и безопасности сложно-технических видов парашютного спорта, таких как купольная акробатика, является важной задачей спортивной медицины [1]. Купольная парашютная акробатика – сложно-технический экстремальный вид спорта [2], элементы которого выполняются на высоте 3000-4000 м в условиях снижения атмосферного давления до 525,9-462,5 мм рт. ст. [3], сопряженного с развитием экзогенной гипобарической гипоксии [4]. Использование низкого атмосферного давления для повышения физической работоспособности исследовано во многих сферах спортивной и военной подготовки, в авиации, медицине и других направлениях [5-6]. Как правило, в работах представлены результаты по средне- и долгосрочной адаптации к гипобарической гипоксии [7-8]. Эффекты кратковременного воздействия гипобарической гипоксии на скорость психомоторных реакций и системную гемодинамику при выполнении сложных координационных элементов в парашютном спорте мало изучены.

Целью работы явилось изучение динамики сатурации кислорода (SaO_2) и влияния кратковременной гипобарической гипоксии на функциональные показатели центральной нервной системы (ЦНС), периферическую и центральную гемодинамику в период тренировок по купольной акробатике у спортсменов-парашютистов высокой квалификации.

Методы и организация исследования. В период подготовки к чемпионату России 2023 по купольной акробатике (Рязанская область, с. Крутицы, 13-20 августа 2023) в экспедиционных условиях обследовано 8 спортсменов-парашютистов высокой квалификации команды Югры (5 – мастера спорта международного класса, 3 – мастера спорта). Возраст спортсменов – от 35 до 54 лет (40,0 [35,5; 46,0]) лет, пол мужской. Обследование проведено за неделю до чемпионата 08-09.08.2023. В связи с погодными условиями тренировочные прыжки до начала чемпионата в остальные дни не проводились.

При выполнении исследования соблюдены принципы биомедицинской этики согласно Хельсинской декларации Good Clinical Practice и национального стандарта Российской Федерации. На исследование получены информированное согласие спортсменов и одобрение Федерации парашютного спорта России.

Сатурацию кислорода (SaO_2) измеряли медицинским пальчиковым пульсоксиметром (Little Doctor MD300C23) перед тренировкой, на высоте 2800-3000 м перед прыжком из самолета и сразу после приземления. Гипобарическая гипоксия $SaO_2 \leq 94\%$ зарегистрирована на высоте 2800 м, достигала SaO_2 85-90% при подъеме на высоту 3000 м, экспозиция – 4-5 мин во время пребывания парашютистов в самолете и в первые минуты прыжка.

До прыжка на земле и сразу после приземления с помощью компьютерно-диагностической системы «НС-Психотест» (Нейрософт, Россия) у парашютистов определяли время простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР), функциональный уровень системы (ФУС), устойчивость психомоторной реакции (УР), уровень функциональных возможностей (УФВ) ЦНС, устойчивость внимания (УВ) по критерию Уиппла; портативным аппаратом A-Pulse-CASPal (HealthStats, Сингапур) измеряли гемодинамические показатели: пульс, периферическое систолическое (САД) и диастолическое артериальное давление (ДАД), центральное систолическое аортальное давление (цСАД).

Статистический анализ проведен с помощью программы Statistica 13.3. Рассчитывали медиану (Me), 25-й и 75-й перцентили (Q_{25}, Q_{75}). Динамику показателей оценивали по критерию Вилкоксона (W). Корреляцию SaO_2 с показателями нейро- и гемодинамики определяли по критерию Спирмена (R). Критический уровень значимости различий – $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Мониторинг SaO_2 во время цикла тренировок по купольной акробатике выявил физиологический уровень оксигенации крови (SaO_2) у парашютистов на земле до прыжков и сразу после приземления (табл. 1).

Индивидуальные показатели SaO_2 у спортсменов до прыжков колебались от 95 до 98%, после приземления – от 96 до 97%.

Гипобарическая гипоксия ($SaO_2 \leq 94\%$) зарегистрирована на высоте 2800 м, достигала SaO_2 85-90% при подъеме на высоту 3000 м, экспозиция – 4-5 мин.

Кратковременное воздействие гипобарической гипоксии сопровождалось увеличением скорости психомоторной реакции спортсменов-парашютистов (табл. 2).

В первый тренировочный день значимое уменьшение времени ПЗМР зарегистрировано после 2-го прыжка, во второй день – уже после 1-го прыжка, минимальные значения времени ПЗМР отмечены после 3-го прыжка.

Корреляционный анализ выявил прямую связь между показателями SaO_2 на высоте перед прыжком и временем ПЗМР после приземления (R=0,900): чем ниже был показатель SaO_2 на пиковой высоте во время тренировки, тем выше была скорость психомоторной реакции.

Таблица 1

Динамика SaO_2 у спортсменов-парашютистов высокой квалификации в период тренировок по купольной акробатике, Me [Q_{25}, Q_{75}]

SaO_2, %	Период тренировок (купольная акробатика)							
	1-й день			2-й день				
	До прыжков	1-й прыжок	2-й прыжок	До прыжков	1-й прыжок	2-й прыжок	3-й прыжок	4-й прыжок
До прыжка	97,5 [96,0; 97,5]	96,0 [95,0; 97,5]	96,5 [95,0; 97,5]	98,0 [97,0; 98,5]	98,0 [97,0; 98,5]	95,0 [94,0; 97,0]	96,0 [95,0; 97,0]	97,0 [95,0; 97,0]
На высоте 2800-3000 м	–	92,0 [90,0; 93,0]**	89,0 [88,0; 90,0]**	–	91,0 [90,0; 92,0]**	88,0 [88,0; 89,0]**	90,0 [89,0,0; 90,5]**	88,0 [87,0; 89,0]**
После приземления	–	94,0* [94,0; 95,0]	95,0 [95,0; 97,0]	–	95,0 [94,0; 97,0]	96,0 [95,0; 97,0]	97,0 [95,0; 97,0]	97,0 [96,0; 97,0]

Примечание: SaO_2 – сатурация O_2; * – $p<0,05$, ** – $p<0,01$ статистически значимые различия по сравнению с показателем до прыжков по критерию W

Таблица 2

Динамика показателей функционального состояния центральной нервной системы у спортсменов-парашютистов высокой квалификации в период тренировок по купольной акробатике, Me [Q_{25}, Q_{75}]

Показатели	Период тренировок (купольная акробатика)							
	1-й день			2-й день				
	До прыжков	После 1-го прыжка	После 2-го прыжка	До прыжков	После 1-го прыжка	После 2-го прыжка	После 3-го прыжка	После 4-го прыжка
Время ПЗМР, мс	199,7 [183,5; 213,7]	197,2 [178,7; 208,5]	193,0 [188,5; 221,0]*	213,0 [203,0; 230,0]	204,0 [185,0; 208,5]*	191,0 [183,6; 195,4]*	189,0 [186,5; 210,0]*	197,5 [194,5; 198,5]*
Функциональный уровень системы, $1/с^2$	4,63 [4,19; 4,77]	5,04 [4,53; 5,15]*	4,66 [4,41; 4,76]	4,44 [4,08; 4,60]	4,54 [4,27; 4,70]	4,86 [4,61; 4,91]	4,47 [4,32; 4,61]	4,51 [4,24; 4,53]
Устойчивость реакции, 1/с	2,07 [1,68; 2,16]	2,45 [1,71; 2,57]*	1,87 [1,75; 1,98]*	1,77 [1,67; 1,97]*	1,67 [1,62; 1,87]*	2,17 [2,10; 2,24]	1,92 [1,85; 2,05]	1,98 [1,96; 2,04]
Уровень функциональных возможностей, $1/с^2$	3,72 [3,25; 3,86]	4,08 [3,28; 4,31]	3,55 [3,34; 3,70]	3,36 [3,19; 3,56]	3,28 [3,24; 3,51]	3,70 [3,70; 3,86]	3,60 [3,54; 3,64]	3,61 [3,49; 3,74]
Общее число ошибок, абс.	2,00 [0,50; 3,50]	0,00 [0,00; 1,50]	1,00 [0,00; 4,00]	1,50 [0,50; 2,00]	0,00 [0,00; 1,00]	1,00 [0,00; 1,00]	0,00 [0,00; 0,00]	1,00 [0,00; 1,00]
Устойчивость внимания и оперативная память, усл.ед.	2,00 [0,50; 3,50]	0,00 [0,00; 1,50]	1,00 [0,00; 4,00]	1,50 [0,50; 2,00]	0,00 [0,00; 1,00]	1,00 [0,00; 1,00]	0,00 [0,00; 0,00]	1,00 [0,00; 1,00]
Коэффициент точности Уиппла, усл.ед.	0,97 [0,95; 0,99]	1,00 [0,98; 1,00	0,99 [0,94; 1,00]	0,98 [0,97; 0,99]	1,00 [0,99; 1,00]	0,99 [0,99; 1,00]	1,00 [1,00; 1,00]	0,99 [0,99; 1,00]

Примечание: ПЗМР – простая зрительно-моторная реакция; * – $p < 0,05$ статистически значимые различия по сравнению с показателем до прыжков по критерию W

Следует отметить, что показатели ФУС, УР, УФВ, УВ значимо улучшились после первой тренировки, но в целом ФУС во время тренировочного процесса сохранялся на исходном уровне, а показатели УФВ и УВ снизились во второй тренировочный день. Очевидно, это связано с тем, что исследование проведено в первые дни акклиматизации при перемещении спортсменов в другой часовой пояс (из Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в Рязанскую область).

После пребывания спортсменов в условиях гипобарической гипоксии выявлено значимое увеличение пульса без существенного изменения периферического САД в первую тренировку и значимого снижения САД после второго прыжка как в первый, так и во второй день тренировочного периода (табл. 3).

Таблица 3

Динамика пульса, периферического и центрального артериального давления у спортсменов-парашютистов высокой квалификации в период тренировок по купольной акробатике, Me [Q_{25}, Q_{75}]

Показатели	Период тренировок (купольная акробатика)							
	1-й день			2-й день				
	До прыжков	После 1-го прыжка	После 2-го прыжка	До прыжков	После 1-го прыжка	После 2-го Прыжка	После 3-го прыжка	После 4-го прыжка
Пульс, уд/мин	71,0 [64,0; 77,0]	91,00 [80,0; 93,0]**	92,0 [80,0; 108,0]**	67,0 [59,0; 81,0]	103,0 [86,0; 117,0]**	86,0 [84,0; 95,0]**	90,0 [80,0; 95,0]*	91,0 [88,0; 97,0]**
САД, мм рт. ст.	128,0 [126,0; 128,0]	127,0 [125,0; 134,0]	121,0 [120,0; 133,0]*	124,0 [116,0; 128,5]	126,0 [122,0; 136,0]	119,0 [0,99; 1,00]*	132,0 [128,0; 132,0]**	132,0 [123,0; 124,0]
ДАД, мм рт. ст.	82,0 [81,0; 89,0]	81,40 [76,0; 89,0]	90,0 [80,0; 91,0]*	86,5 [79,0; 88,5]	84,0 [79,0; 90,0]	80,0 [79,04 82,0]	82,0 [80,0; 84.0]	83,0 [83,0; 88,0]
цСАД *, мм рт. ст.	125,0 [124,0; 126,0]	126,4 [118,0; 136,0]	124,0 [116,0; 130.0]	124,5 [123,0; 127,0]	125,0 [120,0; 133,0]	124,0 [114,0; 128,0]	127,0 [125,0; 128,0]	128,0 [118,0; 129,0]

Примечание: САД и ДАД – систолическое и диастолическое артериальное давление на плечевой артерии; цСАД – центральное систолическое давление в аорте; * – p <0,05 статистически значимые различия по сравнению с показателем до прыжков по критерию W.

Уровень SaO_2 на высоте перед прыжком коррелировал с величиной пульса после прыжка (R= -0,893) и не имел существенной связи с показателями САД, ДАД и цСАД.

Заключение. Результаты исследования показали, что кратковременное снижение SaO_2 в пределах 87-92% на высоте 2800-3000 м при тренировочных прыжках купольной акробатики коррелирует с увеличением скорости психомоторной реакции и пульса, но не влияет существенно на уровень периферического и центрального артериального давления. Оптимальный уровень функционирования ЦНС у спортсменов-парашютистов зарегистрирован после повторного воздействия гипобарической гипоксии в тренировочный день.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение эффективности комплексной оценки функционального состояния спортсменов-парашютистов высокого класса в дисциплине купольная акробатика / Попова М. А., Калинин А. А., Чистова В. В. [и др.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2022. – Т. 14. – № 5. – С. 95-110. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-5-95-110.

2. Единая всероссийская спортивная классификация. URL: https://www.fpsrussia.ru/unified-all-russian-sports-classification (дата обращения 11.11.2023)

3. ГОСТ 4401-81 «Атмосфера стандартная. Параметры». URL: https://docs.cntd.ru/document/1200009588 (дата обращения 11.11.2023)

4. Зарубина, И. В. Современные представления о патогенезе гипоксии и ее фармакологической

коррекции / И. В. Зарубина // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. – 2011. – Т. 9. – № 3. – С. 31-48.
5. Николаева, А. Г. Использование адаптации к гипоксии в медицине и спорте. Монография / А. Г. Николаева. – Витебск: ВГМУ, 2015. – 150 с.
6. Быков, В. Н. Влияние гипобарических гипоксических тренировок на физическую работоспособность / Быков В. Н., Анохин А.Г., Ветряков О. В. [и др.] // Морская медицина – 2017. – Т. 3. – №3. – С. 63-69.
7. Скопичев, В. Адаптация к гипобарической гипоксии / В. Скопичев, Ф. Алистратова. – LAP Lambert Academic Publishing. 2017. – 148 с.
8. Зенько, М. Ю. Перекрестная адаптация: от Ф. З. Меерсона до наших дней. Часть I. Адаптация, перекрестная адаптация и перекрестная сенсибилизация / Зенько М. Ю., Рыбникова Е. А. // Успехи физиологических наук. – 2019. – Т. 50. – № 4. – С.3-13.

REFERENCES

1. Popova M.A., Kalinin A.A., Chistova V.V., Loshkarev A.M., Sherbakova A.E., Mylchenko I.V. Increasing the efficiency of comprehensive assessment of the functional state of high-class athletes-parachutists in the discipline dome acrobatics. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 5, pp. 95-110. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-5-95-110. (in Russ.)
2. Unified All-Russian Sports Classification Available at: https://www.fpsrussia.ru/unified-all-russian-sports-classification (accessed 11.11.2023) (in Russ.)
3. GOST 4401-81 “Standard atmosphere. Options”. Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200009588 (accessed 11.11.2023) (in Russ.)
4. Zarubina I.V. Modern view on pathogenesis of hypoxia and its pharmacological correction. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy*, 2011, vol. 9, no. 3, pp. 31-48. (in Russ.)
5. Nikolaeva A.G. The use of adaptation to hypoxia in medicine and sports. Vitebsk, 2015, 150 p. (in Russ.)
6. Bykov V.N., Anokhin A.G., Vetryakov O.V., Fateev I.V., Khalimov Yu.Sh., Kaltygin M.V. The influence of hypobaric hypoxic training on physical performance. *Marine Medicine*, 2017, vol. 3, no. 3, pp. 63-69. (in Russ.)
7. Skopichev V., Alistratova F. Adaptation to hypobaric hypoxia. LAP Lambert Academic Publishing, 2017. 148 p. (in Russ.)
8. Zen’ko M.Yu., Rybnikova E.A. Cross Adaptation: from F.Z. Meerson to the Modern State of the Problem. Part 1. Adaptation, Cross-Adaptation and Cross-Sensitization. *Advances in physiological sciences*, 2019, vol. 50, no. 4, pp. 3-13. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Марина Алексеевна Попова – главный научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория «Здоровый образ жизни и охрана здоровья», Сургутский государственный педагогический университет, Сургут, e-mail: m_a_popova@mail.ru, nil_zozh@mail.ru.
Иван Васильевич Мыльченко – старший научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория «Здоровый образ жизни и охрана здоровья», Сургутский государственный педагогический университет, Сургут, e-mail: ivan.mylchenko@gmail.com.
Чистова Виктория Васильевна – младший научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория «Здоровый образ жизни и охрана здоровья», Сургутский государственный педагогический университет, Сургут, e-mail: victoria_chistova@mail.ru.
Анастасия Сергеевна Лакомкина – младший научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория «Здоровый образ жизни и охрана здоровья», Сургутский государственный педагогический университет, Сургут, e-mail: lakomkina-97@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Marina Alekseevna Popova – Chief Researcher, “Healthy Lifestyle and health protection” Research Laboratory, Surgut State Pedagogical University, Surgut, e-mail: m_a_popova@mail.ru, nil_zozh@mail.ru.
Ivan Vasil’evich Myl’chenko – Senior Researcher, “Healthy Lifestyle and Health Protection” Research Laboratory, Surgut State Pedagogical University, Surgut, e-mail: ivan.mylchenko@gmail.com.

Viktoria Vasil'evna Chistova – Junior Researcher, "Healthy Lifestyle and Health Protection" Research Laboratory, Surgut State Pedagogical University", Surgut, e-mail: victoria_chistovs@mail.ru.
Anastasia Sergeevna Lakomkina – Junior Researcher, "Healthy Lifestyle and Health Protection" Research Laboratory, Surgut State Pedagogical University", Surgut, e-mail: lakomkina-97@mail.ru.

Для цитирования: Влияние кратковременной гипобарической гипоксии на функциональное состояние центральной нервной системы и гемодинамику у спортсменов высокой квалификации по купольной парашютной акробатике / М. А. Попова, И. В. Мыльченко, В. В. Чистова, А. С. Лакомкина // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 4. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_14

For citation: Popova M.A., Myl'chenko I.V., Chistova V.V., Lakomkina A.S. Influence of short-term hypobaric hypoxia on the central nervous system and hemodynamics in elite canopy formation skydivers. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 4. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_14