Дата публикации: 01.12.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_15
УДК 612.1;612.8;797.5

Publication date: 01.12.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_15
UDC 612.1;612.8;797.5

ПОКАЗАТЕЛИ ОКСИГЕНАЦИИ КРОВИ, НЕЙРОДИНАМИКА И ГЕМОДИНАМИКА У СПОРТСМЕНОВ-ПАРАШЮТИСТОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ВО ВРЕМЯ ЧЕМПИОНАТА РОССИИ-2023 ПО КУПОЛЬНОЙ АКРОБАТИКЕ

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

Аннотация. В статье представлены результаты исследования уровня оксигенации крови, нейродинамики и гемодинамики у спортсменов-парашютистов высокой квалификации команды Югры (n=5) в период чемпионата России-2023 по купольной акробатике. Перед каждым туром, на высоте 2800-3000 м перед прыжком и сразу после приземления измеряли сатурацию кислорода (SaO_2). Перед туром и сразу после приземления оценивали простую зрительно-моторную реакцию (ПЗМР) и показатели гемодинамики (пульс, систолическое (САД) и диастолическое артериальное давление (ДАД), центральное аортальное систолическое давление (цСАД). По результатам ПЗМР оценивали функциональное состояние центральной нервной системы. 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*). Проводили индивидуальный анализ показателей у каждого спортсмена команды. Анализ показал, что SaO_2, ПЗМР, цСАД, САД и ДАД не коррелируют с возрастом спортсменов высокой квалификации по купольной акробатике. Кратковременная экзогенная гипобарическая гипоксия (4-5 мин) на высоте 2800-3000 м сопровождается увеличением скорости ПЗМР при SaO_2 в диапазоне 88-93%. Гемодинамические реакции на гипобарическую гипоксию зависят от исходных параметров парашютистов, имеют разнонаправленный характер изменений САД, ДАД и цСАД и общую тенденцию к увеличению пульса.

Ключевые слова: оксигенация, гипобарическая гипоксия, парашютисты, купольная парашютная акробатика, спорт высоких достижений, функциональное состояние, психомоторные реакции, нейродинамика, гемодинамика, пульс, центральное аортальное давление, периферическое артериальное давление.

INDICES OF BLOOD OXYGENATION, NEURODYNAMICS AND HEMODYNAMICS IN ELITE CANOPY FORMATION SKYDIVERS DURING THE 2023 RUSSIAN CANOPY FORMATION CHAMPIONSHIP

M.A. Popova, I.V. Myl'chenko, V.V. Chistova, A.E. Scherbakova
Surgut State Pedagogical University, Surgut, Russia

Annotation. The article presents the results of a study of the level of blood oxygenation, neurodynamics and hemodynamics in elite skydivers of the Ugra team (n=5) during the 2023 Russian Canopy Formation Championship. Before each round, at an altitude of 2800-3000 m before the jump and immediately after landing, oxygen saturation (SaO_2) was measured. Before the tour and immediately after landing, simple visual-motor reaction (SVMR) and hemodynamic indices (pulse, systolic (sBP) and diastolic blood pressure (dBP), central systolic blood pressure (cSBP)) were evaluated. Taking into account the results of SVMR test, the functional state of the central nervous system was estimated. Using the Statistica 13.3 program, we calculated the median (Me), 25^{th} and 75^{th} percentiles (Q25, Q75). 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). An individual analysis of the indices of each team athlete was carried out. The analysis demonstrated that SaO_2, SVMR, cSBP, sBP and dBP do not correlate

with the age of elite skydivers. Short-term exogenous hypobaric hypoxia (4-5 min) at an altitude of 2800-3000 m is accompanied by an increase in the rate of SVMR at SaO_2 within the range of 88-93%. Hemodynamic response to hypobaric hypoxia depends on the initial parameters of skydivers, have multidirectional changes in sBP, dBP and cSBP and a general trend to increase heart rate.

Keywords: oxygenation, hypobaric hypoxia, skydivers, canopy formation, high performance sports, functional state, psychomotor response, neurodynamics, hemodynamics, pulse, central systolic blood pressure, peripheral blood pressure.

Введение. Прогнозирование результатов в купольной парашютной акробатике [1] требует комплексного изучения реакции функциональных систем организма на внешние и внутренние факторы экстремального сложно-технического спорта [2]. Организация тренировочного процесса требует использования математических моделей прогнозирования, учитывающих физические и психические особенности каждого спортсмена, что определяет в итоге командный спортивный результат [3]. Результаты купольной парашютной акробатики зависят не только от физической и психологической подготовки спортсменов, но и от особенностей физиологических реакций жизнеобеспечивающих систем на экзогенную гипобарическую гипоксию, развивающуюся в условиях снижения атмосферного давления около 500 мм рт. ст. на высоте 3000-4000 м [4-6], с которой начинается выполнение фигур купольной акробатики.

Целью работы явилось изучение динамики сатурации кислорода (SaO_2), нейродинамических и гемодинамических показателей в период чемпионата России по купольной акробатике у спортсменов-парашютистов высокой квалификации.

Методы и организация исследования. В период чемпионата России 2023 по купольной акробатике (Рязанская область, с. Крутицы, 13-20 августа 2023) обследовано 5 спортсменов-парашютистов мужского пола высокой квалификации (мастера спорта международного класса – чемпионы мира по купольной акробатике 2018, чемпионы Кубка мира и чемпионы Европы по купольной акробатике 2019) команды Югры. Возраст спортсменов – от 35 до 47 лет. В обследование включены спортсмены, участвующие в соревновательных турах дисциплины четверки-ротация. Согласно принципам биомедицинской этики, на исследование получены информированное согласие спортсменов и одобрение Федерации парашютного спорта России. Обследование проведено в течение трех дней чемпионата по купольной акробатике (14-16.08.2023).

Сатурацию кислорода (SaO_2) измеряли медицинским пульсоксиметром (Little Doctor MD300C23) перед соревновательным туром, на высоте 2800-3000 м перед прыжком из самолета (экспозиция гипобарической гипоксии – 4-5 мин) и сразу после приземления. До прыжка и сразу после приземления с помощью компьютерно-диагностической системы «НС-Психотест» (Нейрософт, Россия) измеряли время простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР), оценивали 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 – $p<0,05$.

Также провели индивидуальный анализ динамики исследуемых показателей функционального состояния спортсменов.

Результаты исследования и их обсуждение. Команду Югры на чемпионате России-2023 по купольной акробатике представили спортсмены в возрасте от 35 до 43 лет (36,5 [35,5; 40,0]), возраст воздушного оператора – 47 лет.

На земле до и после прыжка SaO_2 у спортсменов была в пределах нормальных значений и соответствовала уровню гипобарической гипоксии (SaO_2<95%) на высоте (табл. 1).

Таблица 1

Динамика SaO_2 у спортсменов-парашютистов высокой квалификации в период чемпионата России-2023 по купольной акробатике, Me [Q_{25}, Q_{75}]

SaO_2	Соревновательные дни Чемпионат России 2023 по купольной акробатике		
	1-й день 14.08.3023	2-й день 15.08.3023	3-й день 16.08.3023
До прыжков, %	96,0 [95,0; 97,0]	97,0 [96,0; 97,0]	97,0 [95,0; 98,0]
На высоте 2800-3000 м, %	92,0 [90,0; 93,0]	88,0 [85,0; 88,0]	92,0 [87,0; 94,0]
После приземления, %	97,0 [97,0; 97,0]	97,0 [97,0; 97,0]	96,0 [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

Индивидуальные показатели SaO_2 на высоте составили от 90 до 93% в первый соревновательный тур, от 85 до 90% во второй день и от 87 до 94% в третий день чемпионата.

После воздействия кратковременной экзогенной гипобарической гипоксии на высоте 2800-3000 м время ПЗМР уменьшилось, ФУС сохранилось на высоком уровне, при этом отмечено значимое уменьшение УР, УФВ, УВ (табл. 2).

После соревновательных туров отмечена отчетливая тенденция к увеличению пульса и сопоставимые с исходными показатели САД, ДАД и цСАД.

Таблица 2

Показатели нейродинамики и гемодинамики у спортсменов-парашютистов высокой квалификации в период чемпионата России-2023 по купольной акробатике, Me [Q_{25}, Q_{75}]

Показатели	Перед чемпионатом	Соревновательные дни Чемпионат России 2023 по купольной акробатике		
		1-й день 14.08.3023 1-й тур	2-й день 15.08.3023 3-й тур	3-й день 16.08.3023 7-й тур
		После приземления	После приземления	После приземления
Время ПЗМР, мс	191,0 [187,5; 192,5]	188,5 [186,0; 201,5]*	189,0 [180,7; 197,7]*	183,5 [181,0; 191,5]*
Функциональный уровень системы, $1/c^2$	4,55 [4,48; 5,01]	4,68 [4,54; 4,72]	4,58 [4,48; 4,97]	4,68 [4,60; 4,81]
Устойчивость реакции, 1/с	2,42 [1,89; 2,42]	2,00 [1,64; 2,02]	2,07 [1,95; 2,10]	2,07 [1,86; 2,64]
Уровень функциональных возможностей, $1/c^2$	4,07 [3,56; 4,08]	3,70 [3,39; 3,70]*	3,64 [3,62; 3,69]*	3,77 [3,52; 4,33]*
Общее число Ошибок	2,00 [1,0; 3,0]	0,00 [0,00; 2,00]	1,00 [0,00; 1,00]	0,00 [0,00; 1,00]

Продолжение таблицы 2

Устойчивость внимания и оперативная память, усл.ед.	2,00 [1,00. 3,00]	0,00 [0,00; 2,00]	1,00 [0,00; 1,00]	0,00 [0,00; 1,00]
Коэффициент точности Уиппла, усл.ед.	0,97 [0,96; 0,99]	1,00 [0,97; 1,00]	0,99 [0.99; 1.00]	1,00 [0,99; 1,00]
Пульс, уд/мин	75,5 [65,0; 78,0]	77,0 [75,0; 76,0]	82,0 [77,0; 85,0]	91,0 [85.0; 99.0]
САД, мм рт. ст.	118,5 [116,0; 120,0]	120,0 [113,0; 124,0]	113,0 [112,0; 120,0]	117,0 [115,0; 120,0]
ДАД, мм рт. ст.	71,5 [70,0; 78,0]	72,0 [72,0; 76,0]	67,0 [63,0; 72,0]	75,0 [66,0; 77.0]
цСАД, мм рт. ст.	111,5 [99,0; 114,0]	112,0 [113,0; 124,0]	110,0 [109,0; 117,0]	111,0 [109.0; 113.0]

Примечание: ПЗМР – простая зрительно-моторная реакция; 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 чемпионата по критерию W.

Тенденция к повышению скорости сенсомоторной реакции после каждого соревновательного тура по сравнению данными перед чемпионатом выявлена у всех спортсменов, но по величине времени ПЗМР парашютисты имели значительные различия в диапазоне от 176 до 230 мс до чемпионата и от 165 мс до 217 мс после пребывания в условиях гипобарической гипоксии в течение 4-5 мин во время соревновательных туров по купольной акробатике (рис. 1).

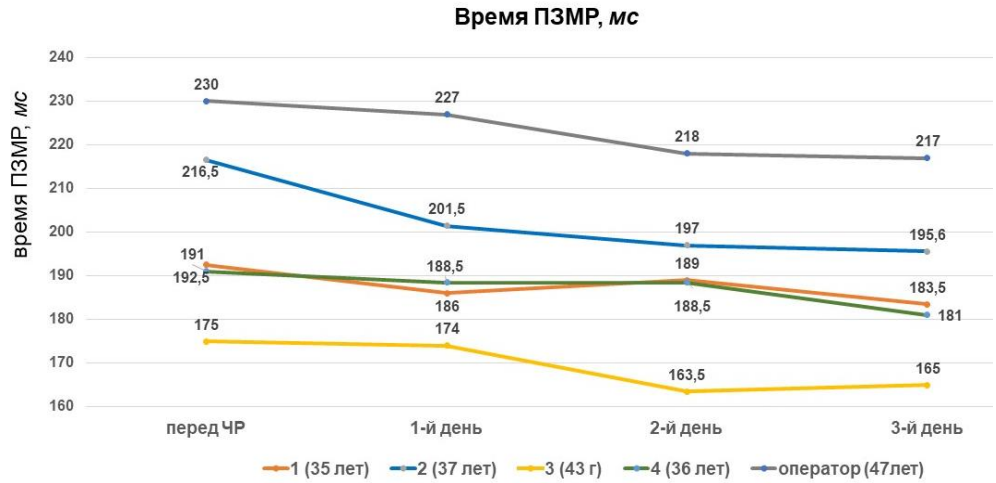


Рис. 1. Динамика времени простой зрительно-моторной реакции перед чемпионатом России-2023 по купольной акробатике и после соревновательных туров у спортсменов-парашютистов (n=5) команды Югры (индивидуальный анализ)

Корреляционный анализ выявил связь между показателями SaO_2 от 92 до 88% на высоте перед прыжком и временем ПЗМР после приземления: чем ниже был показатель SaO_2 на пиковой высоте, тем выше была скорость ПЗМР (R=0,903). Во второй день, во время третьего соревновательного тура у двух спортсменов SaO_2 снизилась до 85 и 86%, что сопровождалось увеличением времени ПЗМР, снижением ФУВ, УР, УФВ и УВ и повлияло на средние показатели команды. Очевидно, даже кратковременное воздействие снижения оксигенации до уровня 85-86%

негативно отражается на функциональном состоянии ЦНС.

Следует отметить, что отмечено улучшение показателей ФУС, УР, УФВ, УВ после первого соревновательного тура, но затем ФУС стабилизировалось на уровне до чемпионата, а УР, УФВ, УВ существенно снизились, повысилось число ошибок и уменьшился коэффициент точности Уиппла к концу чемпионата.

После пребывания спортсменов в условиях гипобарической гипоксии выявлено значимое увеличение пульса у воздушного оператора и 3-х из 4-х спортсменов, но у одного спортсмена при исходной тахикардии отмечено существенное снижение пульса после первого соревновательного тура и более высокие показатели пульса после прыжков во второй и третий день чемпионата, чем у остальных членов команды (рис. 2).

Несмотря на то, что средние показатели цСАД до чемпионата и после соревновательных туров по группе не имели существенных различий, отмечена разнонаправленная реакция системной гемодинамики на гипобарическую гипоксию (рис. 3).

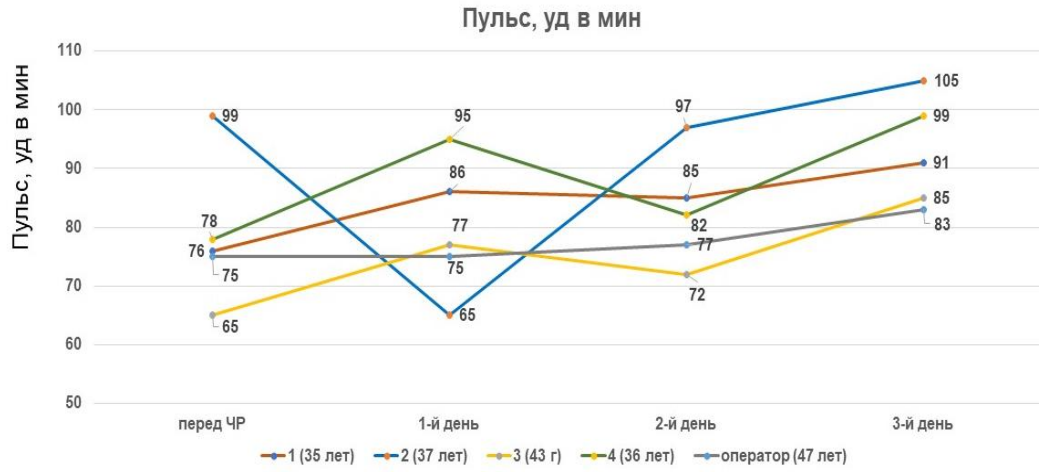


Рис. 2. Динамика пульса перед чемпионатом России-2023 по купольной акробатике и после соревновательных туров у спортсменов-парашютистов (n=5) команды Югры (индивидуальный анализ)

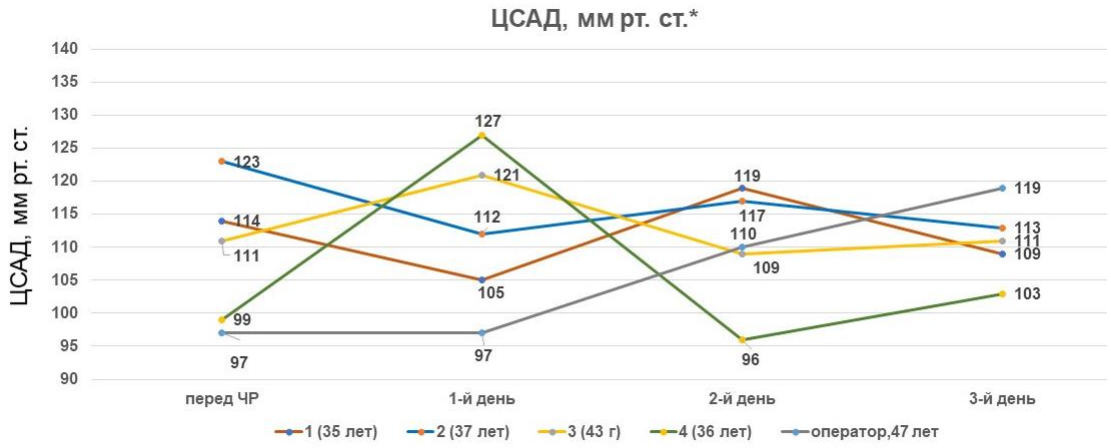


Рис. 3. Динамика цСАД перед чемпионатом России-2023 по купольной акробатике и после соревновательных туров у спортсменов-парашютистов (n=5) команды Югры (индивидуальный анализ)

После первого соревновательного тура у двух спортсменов зарегистрировано повышение и снижение цСАД до исходного уровня после прыжков во 2-й и 3-й день чемпионата. Иная динамика выявлена у двух других спортсменов, у которых после первого соревновательного тура отмечено незначительное снижение цСАД и сопоставимый с исходными данными уровень цСАД после соревновательных туров во 2-й и 3-й день соревнований. Показатель цСАД у воздушного оператора зарегистрирован на уровне до чемпионата после первого тура соревнований и увеличился после соревновательных туров во 2-й и 3-й день чемпионата.

Уровень SaO_2 во время соревновательных туров чемпионата у спортсменов-парашютистов на высоте, соответствующей уровню гипобарической гипоксии, не коррелировал с показателями САД, ДАД и цСАД.

Заключение. Показатели SaO_2, ПЗМР, цСАД, САД и ДАД не коррелируют с возрастом спортсменов высокой квалификации по купольной акробатике.

Кратковременная экзогенная гипобарическая гипоксия на высоте 2800-3000 м сопровождается существенным увеличением скорости ПЗМР при SaO_2 в диапазоне 88-93%. Гемодинамические реакции на экзогенную гипобарическую гипоксию зависят от исходных параметров парашютистов перед ответственными соревнованиями, имеют разнонаправленный характер изменений САД, ДАД и цСАД и общую тенденцию к увеличению пульса.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единая всероссийская спортивная классификация URL: https://www.fpsrussia.ru/unified-all-russian-sports-classification (дата обращения 11.11.2023)
2. Лошкарев, А. М. Прогнозирование спортивного результата в различных дисциплинах парашютного спорта / А. М. Лошкарев, М. А. Попова, И. В. Мыльченко // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 4. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=26604 (дата обращения: 12.11.2023).
3. 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
4. ГОСТ 4401-81 «Атмосфера стандартная. Параметры». URL: https://docs.cntd.ru/document/1200009588 (дата обращения 11.11.2023)
5. Дудко, В. А. Моделированная гипоксия в клинической практике / В. А. Дудко, А. А. Соколов – Томск: SST, 2000. – 352 с.
6. Скопичев, В. Адаптация к гипобарической гипоксии / В. Скопичев, Ф. Алистратова. – LAP Lambert Academic Pablishing. 2017. – 148 с.

REFERENCES

1. Unified All-Russian Sports Classification Available at: https://www.fpsrussia.ru/unified-all-russian-sports-classification (accessed 11.11.2023) (in Russ.)
2. Loshkarev A.M., Popova M.A., Mylchenko I.V. Forecasting skydiving performance of sportsmen's going in for different sports discipline. *Modern problems of science and education,* 2017, no. 4. Available at: https://science-education.ru/ru/article/view?id=26604 (accessed 12.11.2023) (in Russ.)
3. 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.)
4. GOST 4401-81 "Standard atmosphere. Options". Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200009588 (accessed 11.11.2023) (in Russ.)
5. Dudko V.A., Sokolov A.A. Simulated hypoxia in clinical practice. Tomsk: SST, 2000. 352 p. (in Russ.)
6. Skopichev V., Alistratova F. Adaptation to hypobaric hypoxia. LAP Lambert Academic Publishing, 2017. 148 p. (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.
Александра Эдуардовна Щербакова – ведущий научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория «Здоровый образ жизни и охрана здоровья», Сургутский государственный педагогический университет, Сургут, e-mail: a.e.sherbakova@yandex.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.
Aleksandra Eduardovna Scherbakova – Leading Researcher, "Healthy Lifestyle and Health Protection" Research Laboratory, Surgut State Pedagogical University", Surgut, e-mail: a.e.sherbakova@yandex.ru.

Для цитирования: Показатели оксигенации крови, нейродинамика и гемодинамика у спортсменов-парашютистов высокой квалификации во время Чемпионата России-2023 по купольной акробатике / М. А. Попова, И. В. Мыльченко, В. В. Чистова, А. Э. Щербакова // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 4. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_15

For citation: Popova M.A., Mylchenko I.V., Chistova V.V., Scherbakova A.E. Indices of blood oxygenation, neurodynamics and hemodynamics in elite canopy formation skydivers during the 2023 Russian Canopy Formation Championship. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 4. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_15