

DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.4.11

УДК: 796.926

## Оценка оксидативно-антиоксидантного статуса и аэробной работоспособности элитных лыжников-гонщиков в динамике тренировок в условиях естественного среднегорья

А.А. Грушин<sup>1</sup>, И.Е. Зеленкова<sup>1</sup>, О.С. Глазачев<sup>2</sup>, Е.Н. Дудник<sup>2</sup>, С.В. Зоткин<sup>1</sup>,  
П.В. Корнеев<sup>1</sup>, С.В. Копров<sup>1</sup>, Д.Х. Альмяшев<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Олимпийский комитет России, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГАУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Министерство здравоохранения РФ, Москва, Россия

<sup>3</sup>АНО Центр медико-биологических инноваций, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

Технологии адаптации к гипоксии – неотъемлемая часть подготовки квалифицированных спортсменов на различных этапах тренировочно-соревновательного сезона. Одним из ключевых вопросов использования методов дополнительной гипоксической стимуляции является потенциальный риск развития окислительного стресса на фоне сдвигов окислительно-антиоксидантного статуса (ОАС). **Цель исследования:** выявить влияние курса тренировок в условиях естественного среднегорья и последующего периода реадaptации на аэробную работоспособность, экономичность деятельности и окислительно-антиоксидантный баланс у высококвалифицированных лыжников-гонщиков. **Материал и методы.** В исследовании приняли участие 10 высококвалифицированных спортсменов, трижды прошедших комплексное обследование на разных этапах учебно-тренировочных сборов: исходно, после 3-недельных сборов в условиях естественного среднегорья и после 2-недельного сбора на равнине. Каждое комплексное обследование спортсменов включало нагрузочное тредмил-тестирование в условиях нормоксии и умеренной гипоксии с определением спиреоэргометрических показателей, гемоглобина, гематокрита, общей гемоглобиновой массы, а также параметров ОАС. **Результаты:** тренировки на выносливость в условиях среднегорья приводили к значимому повышению значений общей массы гемоглобина и в отставленном периоде (через 16-18 дней реадaptации) – показателей работоспособности ( $VO_2\max$  и  $VO_2/ПАНО$ ), тестируемой как в нормоксии, так и в гипоксии. Не выявлено значимых среднegrupповых изменений показателей оксидативно-антиоксидантного статуса в динамике тестирования профессиональных лыжников. При анализе индивидуальной динамики показателей отмечено, что у большинства спортсменов значения индикатора оксидативного стресса (d-ROM) не выходили за пределы нормативных данных, а показателя общего антиоксидантного потенциала крови находились в зоне повышенных значений на всех этапах тестирования. Как результат, значения интегрального индекса ОАС спортсменов находились в зоне пограничных, несколько повышенных значений. При этом уровень общей активации системы «про-антиоксиданты» коррелировал с приростом аэробной мощности спортсменов. **Выводы:** Параметры ОАС, тестируемые с применением метода FRAS-4 позволяют оценивать динамику ОАС спортсменов, тренирующихся на выносливость в условиях среднегорья.

**Ключевые слова:** оксидативно-антиоксидантный статус, аэробная работоспособность, тренировки в среднегорье, адаптация к гипоксии

**Для цитирования:** Грушин А.А., Зеленкова И.Е., Глазачев О.С., Дудник Е.Н., Зоткин С.В., Корнеев П.В., Копров С.В., Альмяшев Д.Х. Оценка оксидативно-антиоксидантного статуса и аэробной работоспособности элитных лыжников-гонщиков в динамике тренировок в условиях естественного среднегорья // Спортивная медицина: наука и практика. 2019. Т.9, №4. С. 11-20. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.4.11.

## Assessment of the oxidative-antioxidant status and aerobic performance of elite skiers-racers in the dynamics of training cycle at moderate altitude

Alexander A. Grushin<sup>1</sup>, Irina E. Zelenkova<sup>1</sup>, Elena N. Dudnik<sup>2</sup>, Oleg S. Glazachev<sup>2</sup>,  
Sergey V. Zotkin<sup>1</sup>, Pavel V. Korneev<sup>1</sup>, Sergey V. Koprov<sup>1</sup>, Dmitry Kh. Almyashev<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Olympic Committee of Russian Federation, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

<sup>3</sup>ANO «Center of medical-biological innovations», Moscow, Russia

### ABSTRACT

Adaptation to hypoxia is an integral part of elite athletes training at various stages of the training and competition season. One of the key issues in the use of additional hypoxic stimulation methods is the potential risk of oxidative stress development and dangerous shifts in oxidative-antioxidant status (OAS). **Objective:** to identify the impact of altitude training and the subsequent period of reacclimatization on exercise performance, aerobic efficiency and oxidative-antioxidant balance of elite skiers-racers. **Materials and Methods:** The study involved 10 highly qualified athletes who

underwent a comprehensive examination three times at different stages of training camps: initially, after 3-week camps in the natural midlands and after a 2-week camp on the plain. Each comprehensive examination included exercise treadmill testing under normoxia and in moderate hypoxia with determination of spiroergometric indicators, measurement of hemoglobin, hematocrit, total hemoglobin mass, as well as OAS parameters. **Results:** Endurance training at moderate altitude led to significant increase in the total hemoglobin mass and with the delay of 16-18 days of reacclimatization – in performance indicators ( $VO_2\text{max}$  and  $VO_2/AT$ ), tested both in normoxia and hypoxia. No significant average group changes in the oxidative-antioxidant status in the dynamics of professional skiers' 3 weeks acclimatization period were revealed. In the analysis of individual indices dynamics it was noted that in the majority of athletes the values of oxidative stress indicator (d-ROM) did not exceed the limits of normative data, and the index of total antioxidant blood potential were in the zone of slightly increased values at all stages of testing. As a result, the values of the OAS integral index of athletes were in the border zone, with several elevated values. At the same time, the level of overall activation of the pro-antioxidant system correlated with the increase in aerobic capacity of athletes. **Conclusions:** The OSA parameters tested using the FRAS-4 method make it possible to evaluate the dynamics of OSA in athletes training for endurance at moderate altitude.

**Key words:** oxidative-antioxidant status, aerobic capacity, training at moderate altitude, adaptation to hypoxia

**For citation:** Grushin AA, Zelenkova IE, Dudnik EN, Glazachev OS, Zotkin SV, Korneev PV, Koprov SV, Almyashev DKh. Assessment of the oxidative-antioxidant status and aerobic performance of elite skiers-racers in the dynamics of training cycle at moderate altitude. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2019;9(4):11-20. Russian. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.4.11.

### 1. Введение

Применение естественных и моделируемых условий гипоксии в последние 3 декады становится неотъемлемой технологией подготовки квалифицированных спортсменов на различных этапах тренировочно-соревновательного сезона [1, 2]. Выявлены гематологические (гипоксией-индуцированная стимуляция продукции эритропоэтина, общей массы гемоглобина, объема циркулирующей крови и, как результат, кислородной емкости крови) и негематологические (повышение буферной емкости крови и скелетных мышц, стимуляция ангиогенеза, гликолитической активности, утилизации липидов, глюкозы, систем антиоксидантной защиты, биоэнергетической эффективности митохондриальной дыхательной цепи и др.) механизмы адаптации к длительной, умеренной (акклиматизация) или периодической, интервальной гипоксии [3, 4]. Разработаны дифференцированные режимы интервальных гипоксических стимуляций для спортсменов, тренирующихся на выносливость, игровых видов спорта и атлетов, выполняющих «гликолитические» нагрузки, отличающиеся не только интенсивностью и длительностью гипоксических экспозиций, но и разным (одномоментным или последовательным) сочетанием спортивных и гипоксических тренировок.

В последние годы наиболее эффективным режимом повышения спортивных результатов у элитных атлетов считаются интервальные высокоинтенсивные тренировки в гипоксической газовой среде [1]. Но такой режим требует очень тщательного индивидуального подхода к дозированию спортивных нагрузок, поскольку сочетание тканевой гипоксии физических упражнений и гипоксической гипоксии приводит к значимым нарушениям кислородного гомеостаза, индукции оксидативного стресса (ОС), дисбалансу общего редокс-потенциала, что может негативно влиять на сократительные свойства мышц, скоростно-силовые характеристики, работоспособность, спортивные результаты и состояние здоровья атлетов. В этом плане более «щадящим» является режим «жить в горах – тренироваться на равнине» (Live High – Train Low, LHTL), при котором дневные спортивные тренировки и гипоксическая стимуляция (сон в гипоксических па-

латках) разнесены по времени, что не требует снижения интенсивности и объема тренировок [5, 6].

На начальных же этапах тренировочно-соревновательного сезона, особенно для атлетов, тренирующихся на выносливость, по мнению большинства специалистов, достаточно эффективным является режим акклиматизации в естественных условиях среднегорья – «жить и тренироваться на высоте» (Live High – Train High, LHTH) [1, 7]. В то же время, эффективность и безопасность для здоровья атлетов режимов LHTL и LHTH дискутируется, что, очевидно, определяется разными подходами к их применению (эффективной пороговой «дозой» гипоксии для запуска гематологических сдвигов считается сон на «высоте» 2000 м и более в течение 3 недель), разными квалификацией, спортивной специализацией и уровнями подготовки спортсменов [3, 8].

Противоречивы также и данные относительно сдвигов окислительно-антиоксидантного статуса (ОАС) спортсменов, тренирующихся на выносливость в режиме как в условиях естественного среднегорья, так и при LHTL. Так, в ряде работ показано, что 18-21-дневный режим тренировок в сочетании с LHTL приводит к усилению ОС и снижает антиоксидантный потенциал у элитных легкоатлетов и триатлетов [9], а также лыжников-гонщиков [10] с сохранением сниженной мощности антиоксидантных систем в течение 2 недель после завершения сборов [10], что может быть одной из причин (или следствием) развития синдрома перетренированности [11-13]. Причем индикаторы ОС выражены в большей степени при адаптации спортсменов к гипобарической гипоксии в сравнении с аналогичным режимом гипоксии, индуцируемой в нормобарических условиях, что частично объясняется более выраженной степенью гипоксемии и относительным ацидозом, развивающимся в условиях гипобарии [9]. В других, менее продолжительных исследованиях не выявлено сдвигов ОАС у элитных пловцов после курса тренировок в сочетании с нормобарическим режимом LHTL [14]. Обобщение известных данных позволяет предполагать, что учебно-тренировочные сборы в условиях среднегорья (гипобарическая гипоксия – LHTH) или при интервальном моделировании гипоксии (LHTL) могут смещать

уровень ОС, причем эти влияния зависят от суммарной «дозы» гипоксии и интенсивности тренировочных нагрузок, а их оценка затруднена разными подходами и используемыми индикаторами оценки ОАС.

**Цель настоящей работы** – оценить влияние курса тренировок в условиях естественного среднегорья и последующего периода реадaptации на аэробную работоспособность, экономичность деятельности и окислительно-антиоксидантный баланс у высококвалифицированных лыжников-гонщиков.

## 2. Материалы и методы

В исследовании приняли участие 10 высококвалифицированных спортсменов-лыжников (разряды кандидат в мастера спорта (КМС) и мастер спорта (МС), средний возраст  $18,7 \pm 2,1$  лет, масса тела  $68 \pm 5,2$  кг, длина тела  $177,2 \pm 3,8$  см), трижды прошедшие комплексное обследование на разных этапах учебно-тренировочных сборов (УТС), организованных на начальном, базовом этапе тренировочно-соревновательного сезона.

После исходного тестирования (этап Т1) спортсмены прошли трехнедельный цикл тренировок в условиях естественного среднегорья (база Бельмекен, Болгария, высота 1850 м над уровнем моря), общее время тренировок за этот период составило 89,5 часа, при этом 70% времени было отведено на интенсивные беговые нагрузки (кроссы, лыжероллеры). По завершении цикла лыжники прошли повторное комплексное тестирования (этап Т2) и на следующий день отбыли на 2-недельный сбор на равнине (Раубичи, Белоруссия), где тренировались в более интенсивном режиме (время тренировок 73 часа, 80% – беговые нагрузки). По завершении второго сбора через 4-5 дней все спортсмены прошли третье тестирование (этап Т3).

Каждое комплексное тестирование проводилось на уровне моря и включало проведение нагрузочного тестирования до отказа в условиях нормоксии и повторно на следующий день – в условиях моделируемой нормобарической гипоксии, эквивалентной высоте 1500 м (тест выполнялся на том же оборудовании в гипоксическом тенте, модель Everest Summit II, производства Nuroxico, США), определение показателей гемоглобина, гематокрита, общей гемоглобиновой массы, параметров ОАС. Все исследования и процедуры проводились в утренние часы (10-00–12-00 ч), через 1.5–2 ч после приема пищи.

Тест со ступенчато нарастающей нагрузкой до отказа проводили на тредмиле с использованием газоанализатора Cortex Metalyser 3B-R2 (Германия) по следующему протоколу: скорость бега увеличивалась каждые 2 минуты на 2 км/ч, начиная с 5 км/ч. угол наклона дорожки – 5%. Начиная с 1-й минуты исходного состояния и вплоть до окончания трехминутного восстановительного периода регистрировались в непрерывном режиме параметры легочного газообмена, частота сердечных сокращений (ЧСС), насыщение артериальной крови кислородом ( $SpO_2$ ). В исходном состоянии, за 30 секунд до окончания каждой ступеньки и в конце 3-й минуты вос-

становительного периода из безымянного пальца левой кисти проводили забор капиллярной крови для определения концентрации лактата (фотометрический анализатор BTS-350 фирмы BioSystems (Испания).

Концентрацию гемоглобина и гематокрит определяли непосредственно до нагрузочного тестирования в пробе капиллярной крови с помощью фотометрического анализатора BTS-350 фирмы BioSystems (Испания) и гематокритной центрифуги CM-70 фирмы SkyLine (Латвия). Определение общей массы гемоглобина (tHb) проводилось с помощью методики возвратного дыхания монооксидом углерода (CO) [15]. Применяли стеклянный спирометр компании «Bloodtec» (Германия), пробы крови были проанализированы с помощью СО-оксиметра ABL80 FLEX компании «Radiomet» (Дания).

Для оценки окислительно-антиоксидантного статуса (ОАС) применяли фотометрическую аналитическую систему Free Radical Analytical System (FRAS-4) («Diacron International», H&D, Парма, Италия), которая включает в себя термостатированную центрифугу и фотометр. Концентрацию активных форм кислорода определяли по показателю d-ROM (Reactive Oxygen Metabolites). Принцип метода заключается в том, что присутствующие в плазме крови гидроперекиси взаимодействуют с переходными металлами, в частности с железом, высвобождающимися в кислой среде из белков. Образующиеся при этом свободные радикалы окисляют хромоген (N,N-диэтил-пара-фенилдиамин), который изменяет окраску. Для проведения теста капиллярную кровь смешивали с буфером pH 4,8 и хромогеном, центрифугировали в течение 90 с. Фотометрическую оценку осуществляли при длине волны 505 нм. Температура центрифугирования и считывания 37 °С. Показатель d-ROM измеряется в условных единицах UCarr (Carratelli Units). 1 UCarr соответствует концентрации 0,8 мг  $H_2O_2$  в 1 литре. В исследованиях с участием более 5000 относительно здоровых добровольцев установлено, что нормативными значениями d-ROM могут считаться 250–300 UCarr, а значения 300–320 UCarr являются пограничными [16, 17].

Для оценки общего антиоксидантного потенциала крови использовали тест BAP (Biological Antioxidant Potential). Метод основан на способности компонентов плазмы, обладающих антиоксидантной активностью, восстанавливать ионы  $Fe^{3+}$  в присутствии хромогенного субстрата (раствор тиоцианата) до  $Fe^{2+}$ . Капиллярную кровь, смешанную с буфером, раствором хлорида железа и хромогеном, центрифугировали, инкубировали в течение 1 мин. Оценку проводили на фотометре при длине волны 505 нм. Прибор был откалиброван с использованием антиоксидантного препарата – аскорбиновой кислоты. Единица измерения уровня антиоксидантного потенциала 1 UCoг соответствует 1.4 мкМ аскорбиновой кислоты.

Рассчитывали OSI (Oxidative Stress Index) – окислительный стресс-индекс, который интегрирует предыдущие показатели, отражая баланс между антиоксидантными и прооксидантными системами, что облегчает интерпретацию данных [25]. OSI определяли отношени-

ем стандартизированных переменных d-ROM и PAT, используя программу производителя FRAS. Исходя из данных разработчиков метода, в норме величина индекса не должна превышать 40, пограничными считают значения 41-65, OSI выше 65 свидетельствует о выраженном оксидативном стрессе.

Анализ данных проводили с помощью программы Statistica 11.0. Данные в работе представлены как среднее и стандартное отклонение  $M \pm SD$ . Проверка нормальности распределения проведена с применением критерия Колмогорова-Смирнова, корреляции между показателями и их динамикой оценены непараметрическим ранговым

коэффициентом корреляции Спирмена, достоверность различий – тестом Уилкоксона для связанных выборок.

### 3. Результаты и их обсуждение

Трехнедельные тренировки и проживание в условиях умеренной высотной гипоксии сопровождались значимым приростом значений гемоглобина/гематокрита и общей массы гемоглобина, причем повышенные значения первых показателей сохранялись и на этапе Т3, после 2 недель реакклиматизации и тренировок на равнине, но значения tHb на этапе Т3 возвращались к уровню исходных (табл. 1).

Таблица 1

Показатели крови, оксидативно-антиоксидантного статуса и нагрузочного тестирования у спортсменов в динамике наблюдения

Table 1

Indicators of blood, oxide-antioxidant status and exercise performance in normoxia and hypoxia before (Stage T1), immediately after (Stage T2), and 2 weeks after training session (Stage T3) in the moderate altitude

Показатель / Parameter	Этап Т1 / Stage T1	Этап Т2 / Stage T2	Этап Т3 / Stage T3
Масса тела, кг / Body Mass, kg	69,7±6,4	69,3±6,1	69,5±6,2
Hb мг / литр / Haemoglobin, mg/L	151,0±9,8	168,6±19,1* (p=0,01)	161,5±16,3 *(p=0,06)
Гематокрит % / Haematocrit %	44,4±2,7	49,7±5,4 *(p=0,01)	48,9±2,9* (p=0,006)
tHb-mass, г	894,3±69,2	937,4±73,7 *(p=0,005)	906,9±98,6
D-rom test	271±28	289±42 (p=0,16)	276±43 ** (p=0,02)
Вар-test	3091±286	3230±224	3088±642
OSI	41,5±15,4	52,4±16,1	59,1±19,2 *(p=0,012)
Нагрузочное тестирование в условиях нормоксии / Exercise testing in normoxic conditions			
VO <sub>2</sub> max, л/мин	4,3±0,4	4,5±0,3	5,05±0,3 (p=0,1)
VO <sub>2</sub> / ПАНО, л/мин / VO <sub>2</sub> / AT, L/min	3,0±0,4	3,2±0,2	4,0±0,3 *(p=0,01) ** (p=0,005)
Лактат, ммоль/л, VO <sub>2</sub> max / Lactate at VO <sub>2</sub> max level, Mmol/L	11,1±4,2	9,8±3,1	7,2±2,5 *(p=0,02)
Лактат, ммоль/л, ПАНО / Lactate at VO <sub>2</sub> / AT level, Mmol/L	2,7±0,7	3,9±3,4	3,2±2,8
Нагрузочное тестирование в условиях нормобарической гипоксии / Exercise testing in hypoxic conditions			
VO <sub>2</sub> max, л/мин	3,8±0,2	3,75±0,7	4,3±0,3*(p=0,006) ** (p=0,003)
VO <sub>2</sub> / ПАНО л/мин / VO <sub>2</sub> / AT, L/min	3,1±0,4	3,1±0,4	3,7±0,2 *(p=0,01) ** (p=0,01)
Лактат, ммоль/л, VO <sub>2</sub> max / Lactate at VO <sub>2</sub> max level, Mmol/L	10,5±3,0	8,1±2,1 *(p=0,05)	6,1±2,0 *(p=0,005)
Лактат, ммоль/л, ПАНО / Lactate at VO <sub>2</sub> / AT level, Mmol/L	4,2±1,5	2,6±0,7 *(p=0,005)	3,1±1,3

Примечание: \* – достоверность различий по отношению к Этапу Т1; \*\* – достоверность различий по отношению к Этапу Т2.

Note: \* – validity of differences in relation to Stage T1; \*\* – validity of differences in relation to Stage T2.

Следует отметить, что после первого УТС не отмечено достоверной положительной динамики показателей физической работоспособности – значений максимального потребления кислорода абсолютных и относительных, на кг массы тела ( $VO_2max$ , л/мин и  $VO_2max/kg$ , мл/мин/кг), потребления кислорода на уровне анаэробного порога ( $VO_2/ПАНО$  л/мин и  $VO_2/ПАНО/kg$ , мл/мин/кг), а также значений лактата (Лактат, ммоль/л) на уровне  $VO_2max$  и  $VO_2/ПАНО$  как при тестировании в нормоксических, так и в моделируемых гипоксических условиях (табл. 1 и рис. 1). Исключение составило лишь значимое снижение значений лактата на уровне порога анаэробного обмена (ПАНО) и  $VO_2max$  при тестировании лыжников при моделировании умеренной гипоксии, что косвенно отражает некоторое повышение экономичности выполнения работы после курса тренировок в естественных условиях гипобарической гипоксии.

Однако на этапе Т3, после 2-недельного УТС в условиях равнины, отмечено достоверное повышение аэробных возможностей спортсменов при тестировании как в нормоксических, так и в гипоксических условиях – прирост по отношению к исходным данным абсолютных и относительных значений  $VO_2max$  и  $VO_2/ПАНО$  при снижении концентрации лактата на уровне  $VO_2max$ . Причем наиболее значимый прирост значений показателей  $VO_2max/kg$  и  $VO_2/ПАНО/kg$  отмечен при тестировании лыжников в гипоксической среде, и на заключительном их значения практически не отличались от данных тестирования в нормоксии (рис. 1).

Таким образом, отмечен более оперативный «гематологический ответ» (прирост значений общей массы гемоглобина) спортсменов на тренировки в условиях среднегорья и отставленное по времени повышение показателей аэробной работоспособности, что в целом соответствует известным данным о частично гемиче-

ски-обусловленном повышении работоспособностей у атлетов, тренирующихся на выносливость [1, 3] и о фазности повышения работоспособности после 3 недель средне-высокогорных тренировок с максимальным эффектом через 16-18 дней после курса гипоксической адаптации [4].

В исследовании не выявлено значимых среднегрупповых изменений показателей оксидативно-антиоксидантного статуса в динамике тестирования профессиональных лыжников (табл. 1). При анализе индивидуальной динамики показателей отмечено, что у большинства спортсменов значения d-ROM не выходили за пределы нормативных данных на всех трех этапах тестирования (рис. 2, а). Лишь у двух лыжников они находились в зоне пограничных значений или повышались в динамике тестирования. В то же время значения показателя ВАР, отражающего общий антиоксидантный потенциал крови, у 9 из 10 спортсменов находились в зоне повышенных значений на всех этапах тестирования (рис. 2, б). Лишь у одного атлета значения d-ROM и ВАР на заключительном этапе тестирования были существенно снижены, однако это никак не сказывалось на динамике параметров его работоспособности. Как результат, значения показателя OSI, интегрально отражающего ОАС спортсменов, от этапа Т1 к этапу Т2 несколько повышались и далее находились в зоне пограничных, несколько повышенных значений за счет мобилизации механизмов антиоксидантной защиты (рис. 2, в).

Полученные результаты позволяют сделать заключение о достаточно высоком антиоксидантном потенциале крови и высоком «запасе прочности» организма тестируемых спортсменов, с одной стороны, а с другой – об адекватности применяемых тренировочных нагрузок (их интенсивности, продолжительности, повторяемости и пр.) в условиях умеренной гипобарической гипоксии и

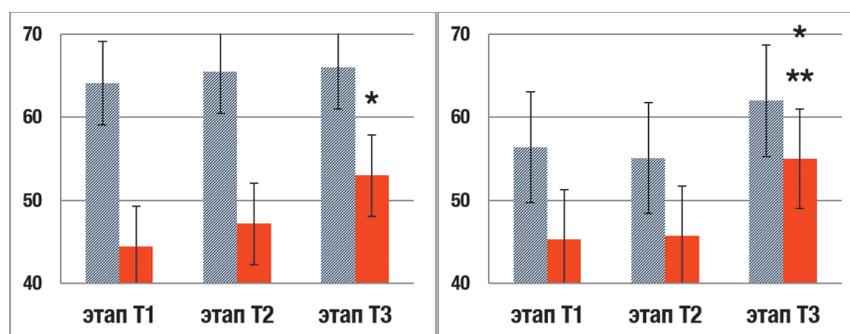


Рис. 1. Динамика значений относительных показателей – максимального потребления кислорода ( $VO_2max/kg$ , мл/мин/кг, обозначены штрихом) и потребления кислорода на уровне анаэробного порога ( $VO_2/ПАНО/kg$ , мл/мин/кг, обозначены красным) у высококвалифицированных лыжников при тестировании в нормоксических (слева) и моделируемых гипоксических (справа) условиях на трех этапах.

\* – достоверность различий ( $p=0,05$ ) по отношению к данным Этапа Т1

\*\* – достоверность различий ( $p=0,05$ ) по отношению к данным Этапа Т2.

Рис.1. Dynamics of the relative values – maximum oxygen consumption ( $VO_2max/kg$ , ml/min/kg, marked in blue) and oxygen consumption at the anaerobic threshold ( $VO_2/AT/kg$ , ml/min/kg, marked in red) for elite skiers, tested in normoxic (left) and simulated hypoxic (right) conditions at three stages.

\* – significance of differences ( $p=0.05$ ) in relation to the data of Stage T1.

\*\* – significance of differences ( $p=0.05$ ) in relation to the data of Stage T2.

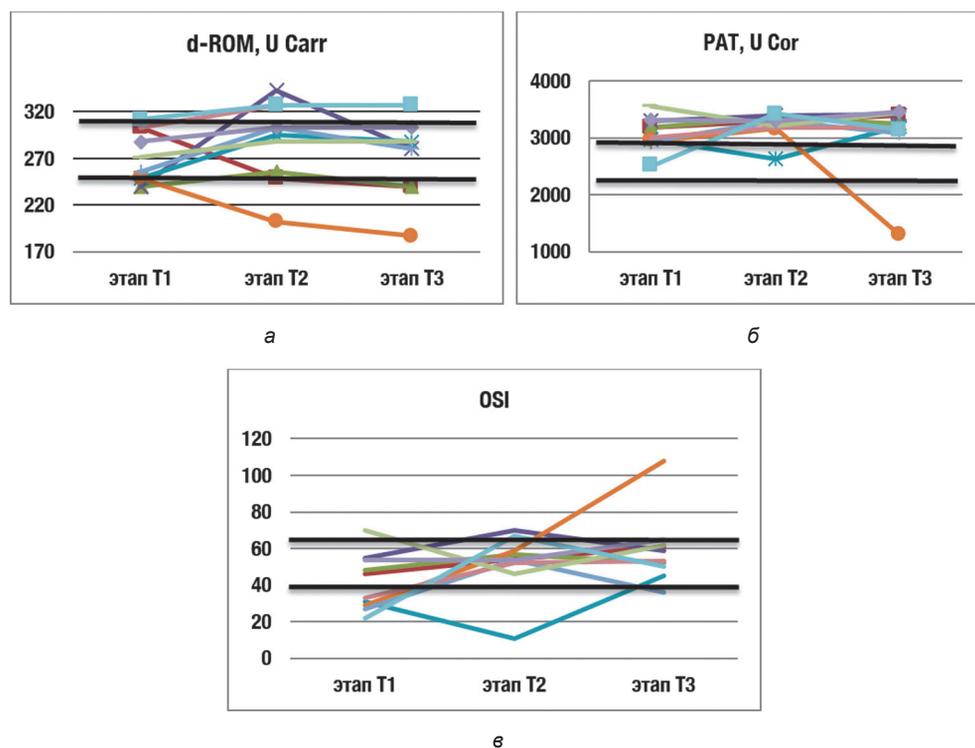


Рис. 2. Динамика индивидуальных значений показателей оксидативно-антиоксидантного статуса квалифицированных лыжников на разных этапах обследования. Черными толстыми линиями обозначены границы условной нормы значений показателей.

Fig. 2. Dynamics of oxidative-antioxidant status individual values in qualified skiers at different stages of the survey. Black thick lines indicate the conventional norms' borders for appropriate indicators.

в периоде реадaptации после акклиматизации к среднегорью, что не приводило к развитию чрезмерного оксидативного стресса и нарушениям баланса в ОАС.

В результате проведения корреляционного анализа сдвигов показателей ОАС и аэробной работоспособности тестируемых спортсменов в динамике периода акклиматизации (между T1 и T2) установлены определенные взаимосвязи. Так, повышение потребления кислорода на уровне ПАНО после 3-недельного цикла в условиях гипобарической гипоксии достоверно коррелирует с повышением значений ВАР (рис. 3, а). А повышение значений OSI значимо связано со снижением уровня лактата крови спортсменов на уровне максимального потребления кислорода (МПК) (рис. 3, б) и повышением значений относительного  $VO_{2max}/kg$  при тестировании в условиях нормоксии (рис. 3, в).

Известно, что продолжительное пребывание в условиях высокогорья, а также «острые» (в течение 24-48 часов) гипобарические гипоксические экспозиции сопровождаются индукцией оксидативного стресса [18]. Аналогичная активация продукции активных форм кислорода (АФК) отмечается и при интенсивных (выше 70% от  $VO_{2max}$ ) тренировочных нагрузках у профессиональных спортсменов [12, 19, 20], причем «острый» мышечный стресс (интенсивная однократная нагрузка на эксцентрическом тренажере) сопровождается индукцией АФК (повышение значений d-ROM) в пределах пограничных значений [19].

Отмечено также, что проведение УТС в условиях среднегорья требует тщательного дозирования (снижения интенсивности) спортивных нагрузок, поскольку сочетание гипоксии среднегорья и тренировочного стресса (адекватного возможностям атлета на равнине, но чрезмерного в горах) может приводить к быстрому развитию переутомления, перетренированности, одной из причин которых является оксидативный стресс [11, 21]. Причем АФК, в зависимости от интенсивности и кратности их продукции прежде всего в скелетной мускулатуре могут выполнять как негативную роль (деградация сократительных белков, сократительная дисфункция вплоть до индукции апоптоза), так и адаптивные функции (стимуляция митохондриального биогенеза, эндогенных механизмов антиоксидантной защиты, аэробной мощности) [22].

Очевидно, что в нашем исследовании 3-недельный цикл индивидуально дозированных тренировок при постоянном пребывании высококвалифицированных лыжников в условиях среднегорья приводил лишь к умеренной активации как продукции АФК (тенденция к росту d-ROM), так и некоторому повышению активности антиоксидантных механизмов (ВАР и OSI), что определенным образом коррелировало с значимым приростом аэробной работоспособности (рис. 3). При этом обнаружена взаимосвязь между приростом общей массы гемоглобина и аэробной работоспособности ( $VO_{2max}$ ), тестируемой как в нормоксических ( $r=0,75$ ;

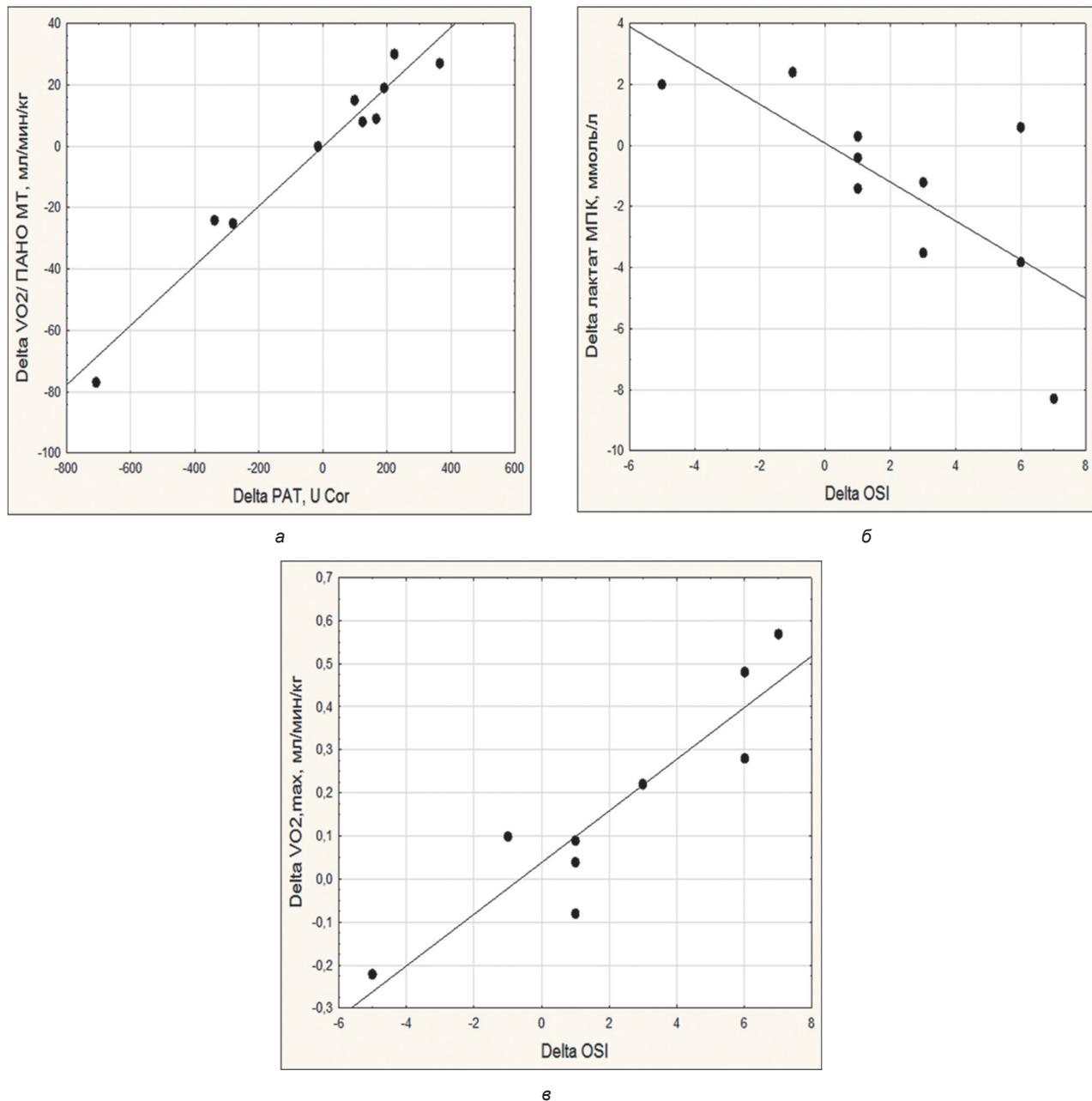


Рис. 3. Соотношения между изменениями значений показателей между этапами тестирования Т1 и Т2:

а – динамикой значений ВАР (ось абсцисс) и приростом потребления кислорода на уровне ПАНО, мл/мин/кг ( $r=0,979$   $p=0,01$ ); б – приростом значений OSI и снижением значений лактата на уровне  $VO_{2,max}$ , ммоль/л ( $r=0,73$   $p=0,02$ ); в – приростом значений OSI и увеличением относительных значений  $VO_{2,max}$ /кг, мл/мин/кг ( $r=0,914$   $p=0,01$ ).

Fig. 3. Relationships between the changes of the indicators between the stages of testing T1 and T2:

а – dynamics of BAP values (abscissa axis) and oxygen consumption increase at the level of anaerobic threshold (AT) relative to body mass, ml/min/kg ( $r=0.979$ ,  $p=0.01$ ); б – increase of OSI values and decrease of lactate values at the level of  $VO_{2,max}$ , Mmol/l ( $r=0.73$ ,  $p=0.02$ ); в – increase of OSI values and increase of relative values of  $VO_{2,max}$ /kg, ml/min/kg ( $r=0.914$ ,  $p=0.01$ ).

$p=0,03$ ), так и в гипоксических ( $r=0,51$ ;  $p=0,05$ ) условиях, а для значений гемоглобина/гематокрита таких корреляций нет, что подтверждает значимость динамической оценки общей гемоглобиновой массы и согласуется с рядом исследований [15, 23]. Подобный эффект может быть объяснен АФК-индуцированной активацией буферной емкости, повышением эффективности утилизации кислорода и глюкозы в скелетных мышцах [1, 24, 25], что на-

ряду с «включением» гематологического ответа на гипоксию приводило к отсроченным (к концу УТС на равнине) эффектам повышения физической работоспособности и аэробной выносливости, тестируемых как в условиях нормоксии, так и в условиях нормобарической гипоксии.

Поскольку значения всех показателей ОАС у лыжников находились в диапазонах нормы и умеренной активации [17] на всех этапах тестирования, можно пола-

гать, что зарегистрированный уровень «оксидативного стресса» является оптимальным для профессиональных спортсменов, тренирующихся на выносливость.

Требуются дополнительные, более масштабные исследования динамики ОАС и его влияния на аэробную мощность и работоспособность спортсменов, тренирующихся на выносливость, в зависимости от «накапливаемой гипоксической дозы» и интенсивности тренировочных нагрузок.

#### 4. Выводы

1. Трехнедельный цикл акклиматизации в условиях среднегорья и индивидуально дозированных тренировок на выносливость приводит к значимому повышению концентрации гемоглобина и общей массы гемоглобина с отставленным на две недели достоверным приростом показателей физической работоспособности и аэробной мощности у высококвалифицированных лыжников-гонщиков, тестируемых как в условиях нормоксии, так и в нормобарической гипоксии.

#### Список литературы

1. Millet GP, Roels B, Schmitt L, Woorons X, Richalet JP. Combining Hypoxic Methods for Peak Performance // Sports Medicine. 2010. Vol.40, №1. P. 1-25.
2. Зеленкова И.А., Зоткин С.В., Корнеев П.В., Копров С.В., Альмяшев Д.Х., Глазачев О.С., Грушин А.А. Вариабельность гипоксической устойчивости у спортсменов различной квалификации и спортивной специализации // Спортивная медицина: наука и практика. 2016. Т.6, №4. С. 5-10.
3. Debevec T, Mekjavić IB. Short intermittent hypoxia for improvement of athletic performance: reality or a placebo? // Kinesiology Slovenica. 2013. Vol.19, №3. P. 5-28.
4. Ranislavljev I, Ilic V, Markovich M, Babic G. New tendencies in the application of altitude training in sport preparation // Journal of Physical Education and Sport. 2011. Vol.11, №2. P. 200-204.
5. Levine BD, Stray-Gundersen J. «Living high-training low»: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance // Journal of Applied Physiology. 1997. Vol.83, №1. P. 102-112.
6. Robach P, Schmitt L, Brugniaux JV, Nicolet G, Duvallat A, Fouillot JP, Moutereau S, Lasne F, Pialoux V, Olsen NV, Richalet JP. Living high-training low: effect on erythropoiesis and maximal aerobic performance in elite Nordic skiers // European Journal of Applied Physiology. 2006. Vol.97, №6. P. 695-705.
7. Christoulas K, Karamouzis M, Mandroukas K. «Living high – training low» vs. «living high - training high»: erythropoietic responses and performance of adolescent cross-country skiers // Journal Sports Med Phys Fitness. 2011. Vol.51, №1. P. 74-81.
8. Maciejczyk M, Sudol G, Szygula Z. Influence of Hypoxia Training on the Aerobic Capacity of an Elite Race Walker // Human Movement. 2012. Vol.13, №4. P. 360-366.
9. Debevec T, Pialoux V, Saugy J, Schmitt L, Cejuela R, Murry P, Ehrström S, Faiss R, Millet GP. Prooxidant/antioxidant balance in hypoxia: a cross-over study on normobaric vs. hypobaric «Live High-Train Low» // PLoS One. 2015. Vol.10, №9. P. 1-14.
10. Pialoux V, Brugniaux JV, Rock E, Mazur A, Schmitt L, Richalet J-P, Mounier R. Antioxidant status of elite athletes remains impaired 2 weeks after a simulated altitude training camp // European Journal of Nutrition. 2009. Vol.49, №5. P. 285-292.

2. Циклы акклиматизации и последующей реакклиматизации спортсменов сопровождались умеренной индивидуально вариабельной активацией как оксидативного стресса, так и антиоксидантных эндогенных механизмов, значения индикаторов которых не превышали границы нормы и пограничных величин.

3. Повышение мощности антиоксидантных механизмов и общая активация системы «про-антиоксиданты» в диапазоне пограничных значений индикаторов ВАР и OSI коррелировало с приростом аэробной мощности тестируемых спортсменов.

4. Применяемый экспресс-метод интегральной фотометрической оценки индикаторов активных метаболитов кислорода и общей антиоксидантной активности (FRAS) является адекватным для динамической оценки оксидативно-антиоксидантного статуса и контроля подготовки спортсменов, тренирующихся на выносливость, в процессе учебно-тренировочных и предсоревновательных сборов.

#### References

1. Millet GP, Roels B, Schmitt L, Woorons X, Richalet JP. Combining Hypoxic Methods for Peak Performance. Sports Medicine. 2010;40(1):1-25.
2. Zelenkova IA, Zotkin SV, Korneev PV, Koprov SV, Al'myashev DKh., Glazachev OS, Grushin AA. Hypoxic tolerance variability in athletes with different training level and sports specialization. Sports medicine: research and practice. 2016;6(4):5-10. Russian.
3. Debevec T, Mekjavić IB. Short intermittent hypoxia for improvement of athletic performance: reality or a placebo? Kinesiology Slovenica. 2013;19(3):5-28.
4. Ranislavljev I, Ilic V, Markovich M, Babic G. New tendencies in the application of altitude training in sport preparation. Journal of Physical Education and Sport. 2011;11(2):200-204.
5. Levine BD, Stray-Gundersen J. «Living high-training low»: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. Journal of Applied Physiology. 1997;83(1):102-112.
6. Robach P, Schmitt L, Brugniaux JV, Nicolet G, Duvallat A, Fouillot JP, Moutereau S, Lasne F, Pialoux V, Olsen NV, Richalet JP. Living high-training low: effect on erythropoiesis and maximal aerobic performance in elite Nordic skiers. European Journal of Applied Physiology. 2006;97(6):695-705.
7. Christoulas K, Karamouzis M, Mandroukas K. «Living high – training low» vs. «living high - training high»: erythropoietic responses and performance of adolescent cross-country skiers. Journal Sports Med Phys Fitness. 2011;51(1):74-81.
8. Maciejczyk M, Sudol G, Szygula Z. Influence of Hypoxia Training on the Aerobic Capacity of an Elite Race Walker. Human Movement. 2012;13(4):360-366.
9. Debevec T, Pialoux V, Saugy J, Schmitt L, Cejuela R., Murry P, Ehrström S, Faiss R, Millet GP. Prooxidant/antioxidant balance in hypoxia: a cross-over study on normobaric vs. hypobaric «Live High-Train Low». PLoS One. 2015;10(9):1-14.
10. Pialoux V, Brugniaux JV, Rock E, Mazur A, Schmitt L, Richalet J-P, Mounier R. Antioxidant status of elite athletes remains impaired 2 weeks after a simulated altitude training camp. European Journal of Nutrition. 2009;49(5):285-292.

11. Дикунец М.А., Дудко Г.А., Шачнев Е.Н., Мякинченко Е.Б., Лянг О.В. Анализ гипотез развития синдрома перетренированности // Спортивная медицина: наука и практика. 2019. Т.9, №2. С. 5-14.
12. Corsetti R, Villa M, Pasturenzi M, Finco A, Cornelli U. Redox state in professional cyclists following competitive sports activity // The Open Sport Medicine Journal. 2012. Vol.6. P. 34-41.
13. Susta D, Dudnik EN, Glazachev OS. A programme based on repeated hypoxia-hyperoxia exposure and light exercise enhances performance in athletes with overtraining syndrome: A pilot study // Clinical Physiology and Functional Imaging. 2017. Vol.3, №37. P. 276-281.
14. León-López J, Calderón-Soto C, Pérez-Sánchez M, Feriche B, Iglesias X, Chaverri D, Rodríguez FA. Oxidative stress in elite athletes training at moderate altitude and at sea level // European Journal of Sport Science. 2018. Vol. 18, №6. P. 832-841.
15. Schmidt W, Prommer N. The optimised CO-rebreathing method: a new tool to determine total haemoglobin mass routinely // Eur J Appl Physiol. 2005. Vol. 95, № 5-6. P. 486-495.
16. Vadalà M, Palmieri B, Malagoli A, Laurino C. Oxidative stress, plasma/salivary antioxidant status detection and health risk factors // Asian Journal of Medical Sciences. 2017. Vol.8, №1. P. 32-41.
17. Vassalle C, Pratali L, Boni C, Mercuri A, Ndreu R. An oxidative stress score as a combined measure of the pro-oxidant and anti-oxidant counterparts in patients with coronary artery disease // Clin.Biochem. 2008. Vol.41, №14-15. P. 1162-1167.
18. Jefferson JA, Simoni J, Escudero E, Hurtado M-E, Swenson ER, Wesso DE, Hurtado A. Increased Oxidative Stress Following Acute and Chronic High Altitude Exposure // High Altitude Medicine & Biology. 2004. Vol.5, №1. P. 61-69.
19. Margonis K, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Douroudos I, Chatzinikolaou A, Kouretas D. Oxidative stress biomarkers responses to physical overtraining: Implications for diagnosis // Free Radical Biology and Medicine. 2007. Vol.43, №6. P. 901-910.
20. Knez WL, Periard JP. The impact of mach-play tennis in a hot environment on indirect markers of oxidative stress and antioxidant status // Br J Sports Med. 2014. Vol.48. P. 159-163.
21. Maruoka H, Komaki K, Inoue K. Effects of Muscle Stress on Oxidative Stress // Journal of Physical Therapy Science. 2007. Vol.19, №4. P. 273-276.
22. Steinbacher P, Eckl P. Impact of Oxidative Stress on Exercising Skeletal Muscle // Biomolecules. 2015. Vol.5. P. 356-377.
23. Зеленкова И.Е., Зоткин С.В., Грушин А.А. Практическое применение оценки динамики параметров общей гемоглобиновой массы и объема циркулирующей крови методом возвратного дыхания монооксидом углерода в контексте тренировочного процесса // Спортивная медицина: наука и практика. 2014. №4. С. 17-23.
24. Strzała M, Ostrowski A, Szyguła Z. Altitude Training and its Influence on Physical Endurance in Swimmers // Journal of Human Kinetics. 2011. Vol.28, №1. P. 91-105.
25. Шендеров Б.А. Роль митохондрий в профилактической, восстановительной и спортивной медицине // Вестник восстановительной медицины. 2018. №1 (83). С. 21-31.
11. Dikunets MA, Dudko GA, Shachnev EN, Myakinchenko EB, Lyang OV. Development of overtraining syndrome: survey of hypotheses. Sports medicine: research and practice. 2019;9(2): 5-14. Russian.
12. Corsetti R, Villa M, Pasturenzi M, Finco A, Cornelli U. Redox state in professional cyclists following competitive sports activity. The Open Sport Medicine Journal. 2012;6:34-41.
13. Susta D, Dudnik EN, Glazachev OS. A programme based on repeated hypoxia-hyperoxia exposure and light exercise enhances performance in athletes with overtraining syndrome: A pilot study. Clinical Physiology and Functional Imaging. 2017;3(37): 276-281.
14. León-López J, Calderón-Soto C, Pérez-Sánchez M, Feriche B, Iglesias X, Chaverri D, Rodríguez FA. Oxidative stress in elite athletes training at moderate altitude and at sea level. European Journal of Sport Science. 2018;18(6):832-841.
15. Schmidt W, Prommer N. The optimised CO-rebreathing method: a new tool to determine total haemoglobin mass routinely. Eur J Appl Physiol. 2005;95(5-6):486-495.
16. Vadalà M, Palmieri B, Malagoli A, Laurino C. Oxidative stress, plasma/salivary antioxidant status detection and health risk factors. Asian Journal of Medical Sciences. 2017;8(1):32-41.
17. Vassalle C, Pratali L, Boni C, Mercuri A, Ndreu R. An oxidative stress score as a combined measure of the pro-oxidant and anti-oxidant counterparts in patients with coronary artery disease. Clin.Biochem. 2008;41(14-15):1162-1167.
18. Jefferson J. A, Simoni J, Escudero E, Hurtado, M.-E, Swenson E R, Wesso, D E, Hurtado A. Increased Oxidative Stress Following Acute and Chronic High Altitude Exposure. High Altitude Medicine & Biology. 2004;5(1):61-69.
19. Margonis K, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Douroudos I, Chatzinikolaou A, Kouretas D. Oxidative stress biomarkers responses to physical overtraining: Implications for diagnosis. Free Radical Biology and Medicine. 2007;43(6):901-910.
20. Knez WL, Periard JP. The impact of mach-play tennis in a hot environment on indirect markers of oxidative stress and antioxidant status. Br J Sports Med. 2014;48:159-163.
21. Maruoka H, Komaki K, Inoue K. Effects of Muscle Stress on Oxidative Stress. Journal of Physical Therapy Science. 2007;19(4):273-276.
22. Steinbacher P, Eckl P. Impact of Oxidative Stress on Exercising Skeletal Muscle. Biomolecules. 2015;5:356-377.
23. Zelenkova IE, Zotkin SV, Grushin AA. Practical approach of total haemoglobin mass and blood volume measurement with carbon monoxide rebreathing method in routine training practice. Sports medicine: research and practice. 2014;4:17-23. Russian
24. Strzała M, Ostrowski A, Szyguła Z. Altitude Training and its Influence on Physical Endurance in Swimmers. Journal of Human Kinetics. 2011;28(1):91-105.
25. Shenderov BA. Role of mitochondria in preventive, restorative and sports medicine. Bulletin of rehabilitation medicine. 2018;1(83):21-31. Russian.

#### Информация об авторах:

Грушин Александр Алексеевич, заместитель руководителя Управления по научно-методическому обеспечению спортивной подготовки Олимпийского комитета России. ORCID ID: 0000-0003-1065-0966

Зеленкова Ирина Евгеньевна, главный врач Инновационного центра Олимпийского комитета России, к.м.н. ORCID ID: 0000-0002-2166-6704 (+7 (916) 774-03-93, iz@il.ru)

Глазачев Олег Станиславович, профессор кафедры нормальной физиологии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), д.м.н. ORCID ID: 0000-0001-9960-6608

**Дудник Елена Николаевна**, доцент кафедры нормальной физиологии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), к.б.н. ORCID ID: 0000-0003-4571-1781

**Зоткин Сергей Викторович**, генеральный директор Инновационного центра Олимпийского комитета России. ORCID ID: 0000-0003-0231-6079

**Корнеев Павел Васильевич**, научный сотрудник, главный специалист Инновационного центра Олимпийского комитета России. ORCID ID: 0000-0002-3880-4958

**Копров Сергей Валерьевич**, научный сотрудник, специалист Инновационного центра Олимпийского комитета России. ORCID ID: 0000-0002-1498-7016

**Альмяшев Дмитрий Халимович**, научный сотрудник, специалист Инновационного центра Олимпийского комитета России, директор АНО «Центр медико-биологических инноваций». ORCID ID: 0000-0002-8341-3569

**Information about the authors:**

**Alexander A. Grushin**, Deputy Head of the Main Department for Ensuring Participation in Olympic Sports Events of the Russian Olympic Committee. ORCID ID: 0000-0003-1065-0966

**Irina E. Zelenkova**, M.D., Ph.D. (Medicine), Chief Doctor of the Innovation Center of the Russian Olympic Committee. ORCID ID: 0000-0002-2166-6704 (+7(916)774-03-93, iz@i1.ru)

**Oleg S. Glazachev**, M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Professor of the Department of Normal Physiology of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). ORCID ID: 0000-0001-9960-6608

**Elena N. Dudnik**, Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Normal Physiology of the Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). ORCID ID: 0000-0003-4571-1781

**Sergey V. Zotkin**, General Director of the Innovation Center of the Russian Olympic Committee. ORCID ID: 0000-0003-0231-6079

**Pavel V. Korneev**, M.D., Scientist, Chief Specialist of the Innovation Center of the Russian Olympic Committee. ORCID ID: 0000-0002-3880-4958

**Sergey V. Koprov**, Scientist, Specialist of the Innovation Center of the Russian Olympic Committee. ORCID ID: 0000-0002-1498-7016

**Dmitry H. Almyashev**, Scientist, Specialist of the Innovation Center of the Russian Olympic Committee, Director of the Center of Medical-biological Innovations. ORCID ID: 0000-0002-8341-3569

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

*Поступила в редакцию: 10.09.2019*

*Принята к публикации: 03.12.2019*

*Received: 10 September 2019*

*Accepted: 03 December 2019*