Дата публикации: 01.06.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_02_32
УДК 797.215; 615.835.3

Publication date: 01.06.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_02_32
UDC 797.215; 615.835.3

ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИИ СРЕДНЕГОРЬЯ И КРАТКОВРЕМЕННОЙ ГИПЕРОКСИИ НА ДИНАМИКУ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СПОРТСМЕНОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ПОДВОДНЫМ ПЛАВАНИЕМ, В МАКСИМАЛЬНОМ ЭРГОСПИРОМЕТРИЧЕСКОМ ТЕСТЕ

Г.Н. Тер-Акопов
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

Аннотация. Целью работы явилось исследование влияния гипоксии среднегорья и кратковременной гипероксии на динамику функциональных показателей спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в максимальном нагрузочном эргоспирометрическом тесте. Как показали результаты экспериментального исследования, гипоксия среднегорья вызывает снижение аэробных возможностей организма даже у спортсменов, занимающихся подводным плаванием, а следовательно являющихся наиболее устойчивыми к данному фактору. В то же время гипероксическая ингаляция перед максимальной нагрузкой способствует значимому увеличению аэробной производительности и мощности выполняемой аэробной нагрузки. Применение кислорода перед тестом и в большей степени в период срочного восстановления сразу после его завершения способствует ускорению восстановительных показателей сердечно-сосудистой системы: частоты сердечных сокращений на 1 и 2 минутах восстановления, артериального давления на 3, 4 и 5 минутах восстановления. Полученные данные позволяют рекомендовать метод горной подготовки спортсменов, описанный как «Жить высоко – тренироваться низко с дополнительным кислородом» в целях одновременного повышения аэробного потенциала и более существенного повышения тренированности по сравнению с традиционной тренировкой в среднегорье. Также рекомендуется модификация данного метода, которую можно назвать «Жить высоко – тренироваться высоко – восстанавливаться с дополнительным кислородом».

Ключевые слова: спортсмены, среднегорье, гипоксия, гипероксия, эргоспирометрия, функциональное состояние.

EFFECT OF MIDDLE ALTITUDE HYPOXIA AND SHORT-TERM HYPEROXIA ON THE FUNCTIONAL PERFORMANCE DYNAMICS IN DIVERS DURING THE MAXIMUM ERGOSPIROMETRIC TEST

G.N. Ter-Akopov
FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, Russia

Annotation. The aim of the work – to study the effect of middle altitude hypoxia and short-term hyperoxia on the functional performance dynamics of divers during the maximum ergospirometric stress test. As the results of the experimental study revealed, hypoxia causes a decrease in aerobic capacity of the body even in divers, consequently being the most resistant to this factor. At the same time hyperoxic inhalation before the maximum workload causes a significant increase of aerobic performance and the performed aerobic load power. The use of oxygen before the test, and to a greater extent during urgent recovery immediately after its completion, promotes faster recovery of cardiovascular system parameters: heart rate at 1 and 2 minutes of recovery, blood pressure at 3,4 and 5 minutes of recovery. The obtained data allow recommending the method of mountain training of athletes described as “Live high – train low with supplementary oxygen” in order to simultaneously increase aerobic potential and a more significant increase in fitness compared with traditional training in middle altitude. A modification of this method, which can

be possibly described as “Live high – train high – recover with supplementary oxygen” is also recommended.
Keywords: athletes, middle altitude, hypoxia, hyperoxia, ergospirometry, functional state.

Введение. Многолетними исследованиями была показана эффективность природного гипоксического фактора в целях достижения высокого адаптационного потенциала организма, иначе называемого тренировками в среднегорье [1-2]. Предложены модели (варианты методов) проведения тренировок на разных высотах. Классическим подходом считается модель «Жить высоко – тренироваться высоко» (LHTH), когда спортсмены живут и тренируются на одном и том же уровне горной местности [2-5]. Эффектом таких тренировок становится увеличение работоспособности спортсменов в нормоксических условиях [3, 6]. Существенные изменения в организации и расширении возможностей тренировки были внесены с введением других моделей горной подготовки. Метод подготовки «Жить высоко – тренироваться низко» (LHTL) сочетает в себе проживание на большой высоте с ежедневным пребыванием на более низких высотах для тренировочных занятий [7]. Другой метод – «Высоко высоко низко» (HHL) [8], сочетающий разные варианты гипо- и гипероксического воздействия, а также тренировки и проживание в среднегорье с ингаляциями воздушными дыхательными смесями с повышенным содержанием кислорода [9-10]. Подобный вариант метода, использующий гипероксию «Жить высоко – тренироваться низко с дополнительным кислородом» ($LHTLO_2$) ранее апробировался, в результате чего авторы пришли к выводу, что $LHTLO_2$ приводит к значительному увеличению насыщения оксигемоглобином артериальной крови и большим его распадом на уровне капилляров работающих мышц. Это вызывает значительное повышение аэробного потенциала, увеличение выходной мощности и физической работоспособности и не сопровождается дополнительным клеточным стрессом от окислительных реакций [11].

Проведенные ранее исследования российских ученых также демонстрируют эффективность гипероксических ингаляций, применяемых в нормоксических условиях [12-13]. В настоящее время особенно актуально может быть применение данного метода у спортсменов, ранее перенесших COVID-19, так как имеются данные о снижении потребления кислорода (VO_2) и изменении метаболизма лактата у выздоравливающих спортсменов после легкой формы COVID-19. Этот вопрос еще недостаточно изучен, однако, как указывают авторы, физические возможности испытуемых имели тенденцию к снижению [14-15], хотя имеются и противоположные данные [16].

Тем не менее специалисты сходятся во мнении о том, что эффективным в оценке функционального состояния и работоспособности спортсменов в условиях среднегорья, в том числе и ранее перенесших COVID-19, является нагрузочное эргоспирометрическое тестирование [17].

Целью работы явилось исследование влияния гипоксии среднегорья и кратковременной гипероксии на динамику функциональных показателей спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в максимальном нагрузочном эргоспирометрическом тесте.

Методы и организация исследования. Исследование проводилось в Центре медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России в среднегорье на высоте 1240 м (гора Малое седло, г. Кисловодск) в период УТС (учебно-тренировочных сборов) на базе ФГУП «Юг спорт». В исследовании приняли участие 9 высококвалифицированных спортсменов, занимающихся подводным плаванием, все спортсмены – члены сборных команд Российской Федерации.

Для создания гипероксической смеси использовался кислородный концентратор

JAY-10 (Longfian, Китай). Концентрация кислорода в смеси составила 93±3 %, производительность – 5 л/мин, экспозиция – 20 мин. Гипероксическая смесь подавалась в дыхательные пути посредством маски.

Нагрузочное тестирование на тредмиле с эргоспирометрией и анализом динамики срочного восстановления проводили три раза, с интервалом 3 дня: 1 тест – максимальный нагрузочный тест на тредмиле без гипероксических ингаляций, 2 тест – гипероксическая ингаляция непосредственно перед тестом 10 мин, затем сразу максимальный нагрузочный тест на тредмиле, 3 тест – максимальный нагрузочный тест на тредмиле и гипероксическая ингаляция 10 мин сразу после завершения теста, в период срочного восстановления.

Нагрузочное тестирование осуществляли с помощью эргоспирометрической системы SCHILLER (Швейцария) и тредмила H/P/COSMOS (Германия) по протоколу Брюса. Тест продолжался до отказа спортсмена от работы. В протоколе фиксировали время выполнения теста, частоту сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), объем O_2 и CO_2 в выдыхаемом воздухе в конце каждой ступени нагрузки. Эти же показатели фиксировали каждую минуту срочного восстановления.

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программы Statistica 13.0. Результаты исследования представлены в виде медианы и квартилей (25-й и 75-й процентили). Статистическая обработка данных проводилась с помощью непараметрических критериев Уилкоксона (Wilcoxon matched pair test) и Манна-Уитни (Mann-Whitney U-test), рангового дискриминантного анализа и конкордации Кендалла. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез принимался не менее чем 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение Спортсмены, занимающиеся подводным плаванием, являются наиболее устойчивыми к гипоксии, в связи с чем исследование гипо- и гипероксических воздействий у них представляет наибольший интерес. Сравнительный анализ показателей спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в тесте без кислорода и с кислородной поддержкой (табл. 1) показал, что при применении гипероксии увеличились время работы (Время max; $p<0,05$), время работы на аэробном пороге (Время АП), максимальная мощность нагрузки (Нагр max), мощность нагрузки на аэробном пороге (Нагр АП; $p<0,01$), максимальное потребление кислорода (VO_2max), скорость выделения углекислого газа (VCO_2max), скорость потребления кислорода на аэробном пороге ($VO_2АП$; $p<0,02$), ЧСС на аэробном пороге (ЧСС АП), метаболический эквивалент кислорода.

Сравнение полученных данных с литературными показывает, что показатели максимального потребления кислорода (МПК) у исследованных высококвалифицированных спортсменов, занимающихся подводным плаванием, ниже средних величин МПК для лиц данного возраста и пола, что свидетельствует о значимом воздействии гипоксии среднегорья на функциональный статус спортсменов, следствием чего является снижение аэробных возможностей организма [18]. В то же время величина метаболического эквивалента высокая, что подтверждает высокий уровень тренированности и квалификацию пловцов, принявших участие в исследовании.

Как показали полученные данные, гипероксическая ингаляция перед максимальной нагрузкой в условиях гипоксии среднегорья способствовала увеличению максимальных функциональных возможностей кислородтранспортной системы спортсменов в условиях гипоксии среднегорья и повышению физической работоспособности, что позволило им выполнить большую физическую работу как по объему, так и по интенсивности.

Таблица 1

Показатели спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в максимальном нагрузочном велоэргометрическом тесте на тредмиле с предварительной гипероксической ингаляцией и без

№ п/п	Показатели	Без O_2	O_2 перед тестом	P<
1	Время max, с	680,0 (610,0; 820,0)	690,0 (600,0; 880,0)	0,05
2	Время АП, с	400,0 (350,0; 430,0)	430,0 (370,0; 490,0)	-
3	Нагр max, Вт	169,0 (156,0; 219,0)	201,0 (166,0; 252,0)	-
4	Нагр АП, Вт	78,0 (66,0; 95,0)	97,0 (82,0; 130,0)	0,01
5	VO_2max, л/мин	2,3 (2,2; 2,9)	2,7 (2,3; 3,3)	-
6	VO_2отн, мл/кг/мин	39,7 (38,4; 41,4)	43,1 (41,5; 44,8)	-
7	VCO_2max, л/мин	2,7 (2,6; 3,8)	3,2 (3,0; 3,7)	-
8	RER, усл.ед.	1,2 (1,1; 1,3)	1,2 (1,1; 1,3)	-
9	ЧССmax, уд/мин	191,0 (188,0; 197,0)	190,0 (186,0; 192,0)	-
10	VO_2АП, л/мин	1,4 (1,2; 1,5)	1,5 (1,4; 1,7)	0,02
11	VO_2АП отн, мл/кг/мин	22,0 (20,0; 26,4)	23,0 (19,5; 27,9)	-
12	VCO_2АП, л/мин	1,4 (1,2; 1,5)	1,5 (1,4; 1,7)	-
13	ЧСС АП, уд/мин	160,0 (137,0; 167,0)	161,0 (149,0; 168,0)	0,04
14	МЕТ, мл х $кг^{-1}$ х $мин^{-1}$	11,3 (10,9; 12,0)	12,5 (11,5; 12,8)	-

Примечание: АП – анаэробный порог; VO_2 – потребление кислорода; VCO_2 – выделение углекислого газа; ЧСС – частота сердечных сокращений; RER – дыхательный коэффициент; МЕТ – метаболический эквивалент кислорода

Для оценки влияния гипероксической ингаляции на процессы срочного восстановления после максимальной нагрузки (первые 10 мин после окончания работы) проводился сравнительный анализ показателей при восстановлении в тесте без кислородной поддержки, с кислородной поддержкой перед тестом и гипероксической ингаляцией сразу после прекращения работы. Сравнение динамики всех показателей на 1, 2, 3, 4 и 5 минутах восстановления выявил статистически значимые различия по данным рангового дискриминантного анализа и конкордации Кендалла.

Анализ динамики ЧСС в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста показал статистически значимые меньшие значения ЧСС на 1 и 2 минуте восстановления в тесте с кислородом (табл. 2).

Таблица 2

Динамика частоты сердечных сокращений в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста

Минуты восстановительного периода	Без O_2 1	O_2 до нагрузки 2	Восстановление с O_2 3	P<
1	164 (148; 174)	156 (136; 163)	128 (105; 144)	1-3<0,05
2	120 (115; 132)	128 (123; 132)	112 (103; 120)	1-3<0,03
3	108 (106; 118)	116 (110; 123)	106 (101; 116)	-
4	104 (95; 114)	110 (105; 117)	103 (98; 107)	-
5	100 (98; 110)	102 (100; 108)	102 (98; 105)	-

По показателям АД выявлены статистически значимые меньшие значения в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста. Зарегистрированы статистически значимые меньшие значения систолического АД на 3 минуте восстановления в тесте с кислородом, применяемым перед нагрузкой. Также значимо меньшие значения систолического АД обнаружены на 4 и 5 минутах восстановления с кислородной поддержкой (табл. 3).

Таблица 3

Динамика систолического артериального давления в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста

Минуты восстановительного периода	Без O_2 1	O_2 до нагрузки 2	Восстановление с O_2 3	P<
1	172 (152; 188)	160 (144; 196)	161 (135; 165)	-
2	164 (142; 192)	152 (145; 170)	150 (138; 162)	-
3	149 (138; 176)	140 (137; 197)	135 (131; 153)	1-2<0,02
4	140 (132; 161)	128 (124; 140)	129 (123; 131)	1-3<0,02
5	131 (126; 135)	130 (124; 144)	121 (117; 130)	1-3<0,02

Анализ динамики диастолического АД показал его статистически значимые меньшие значения на 1-й минуте восстановления в тесте без кислорода и дальнейшее повышение к 5-й минуте. В тесте с кислородной поддержкой до нагрузки диастолическое АД на 1-5 минутах восстановления практически не менялось. В тесте с восстановлением с кислородом наблюдалось его равномерное снижение от 1-й к 5-й минуте. Статистически значимо меньшие значения выявлены между данными диастолического АД в тесте с восстановлением с кислородом по сравнению с тестом без его применения. Следовательно, применение кислорода перед тестом и в большей степени в период срочного восстановления сразу после его завершения способствует ускорению восстановительных процессов, что выражается в показателях ЧСС на 1 и 2 минутах восстановления, систолического АД – на 3,4 и 5 минутах восстановления и общей динамики диастолического АД (табл. 4, рис.).

Таблица 4

Динамика диастолического артериального давления в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста

Минуты восстановительного периода	Без O_2 1	O_2 до нагрузки 2	Восстановление с O_2 3	P<
1	78 (72; 85)	80 (70; 93)	85 (73; 91)	1-2<0,04
2	84 (77; 93)	79 (70; 87)	81 (79; 86)	-
3	86 (83; 88)	81 (69; 89)	77 (71; 84)	-
4	86 (74; 90)	78 (71; 85)	77 (67; 85)	1-3<0,04
5	86 (81; 88)	83 (76; 89)	76 (74; 84)	1-3<0,04

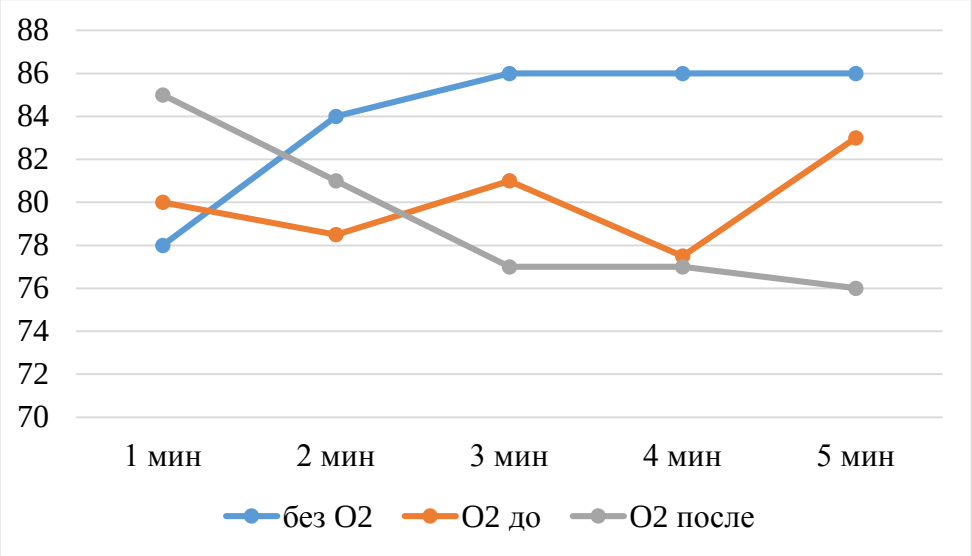


Рис. Динамика диастолического артериального давления в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста в вариантах применения без кислорода, с кислородом перед тестом и кислородом после его завершения

Заключение. Таким образом, проведенное исследование показывает, что гипоксия среднегорья вызывает снижение аэробных возможностей организма, что проявилось при выполнении максимального нагрузочного велоэргометрического теста на тредмиле в виде более низких показателей МПК и АП. В то же время гипероксическая ингаляция перед максимальной нагрузкой способствует значимому увеличению аэробной производительности и мощности выполняемой аэробной нагрузки. Применение кислорода перед тестом и в большей степени в период срочного восстановления сразу после его завершения способствует ускорению восстановительных процессов, что выражается в показателях ЧСС на 1 и 2 минутах восстановления, систолического АД на 3, 4 и 5 минутах восстановления и общей динамики диастолического АД. Полученные данные позволяют рекомендовать метод горной подготовки спортсменов, описанный как «Жить высоко – тренироваться низко с дополнительным кислородом» в целях одновременного повышения аэробного потенциала и более существенного повышения тренированности по сравнению с традиционным. Также рекомендуется модификация данного метода, которую можно назвать «Жить высоко – тренироваться высоко – восстанавливаться с дополнительным кислородом».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Phelan, D. A game plan for the resumption of sport and exercise after coronavirus disease 2019 (COVID-19) infection / D. Phelan, J. H. Kim, E. H. Chung // JAMA Cardiol. – 2020. – Vol. 13. – № 12. – pp. 2635-2652.
2. Корягина, Ю. В. Современные технологии и эффекты горной и гипоксической подготовки спортсменов / Ю. В. Корягина, Г. Н. Тер-Акопов, С. В. Нопин // Курортная медицина. – 2017. – № 3. – С. 170-174.
3. Influence of altitude training modality on performance and total haemoglobin mass in elite swimmers / Gough C. E., Saunders P. U., Fowlie J. [et al] // European journal of applied physiology. – 2012. – Vol. 112. – № 9. – pp. 3275-3285.
4. Training Quantification and Periodization during Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study / Sharma A., Saunders P., Garvican-Lewis L. [et al] // Journal of sports science & medicine. – 2018. – Vol. 17. – № 4. – pp. 607-616.
5. Stanley, J. Training Quantification and Periodization during Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study / J. Stanley, E. Y. Robertson, K. G. Thompson // J Sports Sci Med. – 2018. – Vol. 20. – № 17(4). – pp. 607-616.

6. Суслов, Ф. П. Спортивная тренировка в условиях среднегорья / Ф. П. Суслов. – М.: 1999. – 202 с.
7. The effects of altitude/hypoxic training on oxygen delivery capacity of the blood and aerobic exercise capacity in elite athletes – a meta analysis / Park H., Hwang H., Park J. [et al] // Exerc Nutrition Biochem. – 2016. – № 20. – pp. 15-22. DOI: 10.20463/jenb.2016.03.20.1.3.
8. Living high-training low: effect on erythropoiesis and aerobic performance in highly-trained swimmers / Robach P., Schmitt L., Brugniaux J. V [et al] // Eur J Appl Physiol. – 2006. – № 96. – pp. 423-433. DOI: 10.1007/s00421-005-0089-1.
9. Park H. Y. Application of "living high-training low" enhances cardiac function and skeletal muscle oxygenation during submaximal exercises in athletes / H. Y. Park, S. S. Nam // J Exerc Nutrition Biochem. – 2017. – Vol. 31. – № 21(1). – pp. 13-20. DOI: 10.20463/jenb.2017.0064.
10.Hyperoxia during recovery improves peak power during repeated wingate cycle performance / B. Kay, S. R Stannard, R. H. Morton, N. North // Brazilian Journal of Biomotricity. – 2008. – pp. 92-100.
11.Suchý, J. The effect of inhaling concentrated oxygen on performance during repeated anaerobic exercise / J. Suchý, J. Heller, V. Bunc // Biol. Sport. – 2010. –Vol. 27(3). – pp. 169-175.
12.Михалев, В. И. Влияние кислородно-воздушной смеси с содержанием кислорода 93% на вариабельность сердечного ритма и систему внешнего дыхания спортсменов / В. И. Михалев, Е. А. Реуцкая, Ю. В. Корягина // Теория и практика физической культуры. – 2012. – № 11. – С. 12-15.
13.Реуцкая, Е. А. Влияние воздушной дыхательной смеси с повышенным содержанием кислорода на процессы срочного восстановления кардиореспираторной системы лыжников разной квалификации / Е. А. Реуцкая, Ю. В. Корягина // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2013. – № 4 (112). – С. 17-23.
14. Clinical characteristics, exercise capacity and pulmonary function in post-COVID-19 competitive athletes / Komici K., Bianco A., Perrotta F. [et al] // J. Clin. Med. – 2021. – № 10 (14). – P. 3053. DOI: 10.3390/jcm10143053
15.The impact of COVID-19 on the preparation for the Tokyo Olympics: A comprehensive performance assessment of top swimmers / Csulak E., Petrov Á., Kováts T. [et al] // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2021. – № 18 (18). – P. 9770. DOI: 10.3390/ijerph18189770
16. SARS-CoV2 infection: Functional and morphological cardiopulmonary changes in elite handball players / Fikenzer S., Kogel A., Pietsch C. [et al] // Sci. Rep. – 2021. – № 11 (1). – P. 17798. DOI: 10.1038/s41598-021-97120-x
17.Diagnostic evaluation and cardiopulmonary exercise test findings in young athletes with persistent symptoms following COVID-19 / Moulson N., Gustus S. K., Scirica C. [et al] // Br. J. Sports Med. – 2022. – № 56 (16). – pp. 927-932. DOI: 10.1136/bjsports-2021-105157.
18.Ландырь, А. П. Тесты с дозируемой физической нагрузкой в спортивной медицине / А. П. Ландырь, Е. Е. Ачкасов, И. Б. Медведев. – М.: Спорт, 2019. – 256 с.

REFERENCES

1. Phelan D., Kim J.H., Chung E.H. A game plan for the resumption of sport and exercise after coronavirus disease 2019 (COVID-19) infection. *JAMA Cardiol*, 2020, vol. 13, no. 12, p. 2635-2652.
2. Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N., Nopin S.V. Modern technologies and effects of mountain and hypoxic sportsmen training. *Resort Medicine*, 2017, no. 3, pp. 170-174. (in Russ.)
3. Gough C.E., Saunders P.U., Fowlie J., Savage B., Pyne D.B., Anson J.M., Wachsmuth N., Prommer N., Gore C.J. Influence of altitude training modality on performance and total haemoglobin mass in elite swimmers. *European journal of applied physiology*, 2012, vol. 112, no. 9, pp. 3275-3285.
4. Sharma A., Saunders P., Garvican-Lewis L., Périard J., Clark B., Gore C., Raysmith B.P., Stanley J., Robertson E.Y., Thompson K. Training Quantification and Periodization during Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study. *Journal of sports science & medicine*, 2018, vol. 17, no. 4, pp. 607-616.
5. Stanley J., Robertson E.Y., Thompson K.G. Training Quantification and Periodization during Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study. *J Sports Sci Med*, 2018, vol. 20, no. 17(4), pp. 607-616.
6. Suslov F.P. Sports training in middle altitude conditions. Moscow: 1999. 202 p.(in Russ.)
7. Park H., Hwang H., Park J., Lee S., Lim K.J. The effects of altitude/hypoxic training on oxygen delivery capacity of the blood and aerobic exercise capacity in elite athletes – a meta analysis. *Exerc Nutrition Biochem*, 2016, no. 20, pp. 15-22. DOI: 10.20463/jenb.2016.03.20.1.3.

8. Robach P., Schmitt L., Brugniaux J.V., Roels B., Millet G., Hellard P., Nicolet G., Duvallet A., Fouillot J.P., Moutereau S., Lasne F., Pialoux V., Olsen N.V., Richalet J.P. Living high-training low: effect on erythropoiesis and aerobic performance in highly-trained swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 2006, no. 96, pp. 423-433. DOI: 10.1007/s00421-005-0089-1.
9. Park H.Y, Nam S.S. Application of "living high-training low" enhances cardiac function and skeletal muscle oxygenation during submaximal exercises in athletes. *J Exerc Nutrition Biochem*, 2017, vol. 31, no. 21(1), pp. 13-20. DOI: 10.20463/jenb.2017.0064.
10.Kay B., Stannard S.R., Morton R.H., North N. Hyperoxia during recovery improves peak power during repeated wingate cycle performance. *Brazilian Journal of Biomotricity*, 2008, pp. 92-100.
11.Suchý J., Heller J., Bunc V. The effect of inhaling concentrated oxygen on performance during repeated anaerobic exercise. *Biol. Sport*, 2010, vol. 27(3), pp. 169-175.
12.Mikhalev V.I., Reutskaya E.A., Koryagina Yu.V. The effect of oxygen-air mixture with 93% of oxygen on heart rate variability and external respiration system of athletes. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2012, no. 11, pp. 12-15. (in Russ.)
13.Reutskaya E.A., Koryagina Yu.V. The effect of air breathing mixtures with increased amount of oxygen on the urgent restoration of the cardiorespiratory system in skiers of different qualification. *Exercise therapy and Sports Medicine*, 2013, no. 4 (112), pp. 17-23. (in Russ.)
14.Komici K., Bianco A., Perrotta F., Iacono A.D., Bencivenga L., D'Agnano V., Rocca A., Bianco A., Rengo G., Guerra G. Clinical characteristics, exercise capacity and pulmonary function in post-COVID-19 competitive athletes. *J. Clin. Med*, 2021, no. 10 (14), p. 3053. DOI: 10.3390/jcm10143053
15.Csulak E., Petrov Á., Kováts T., Tokodi M., Lakatos B., Kovács A., Staub L., Suhai F.I., Szabó E.L., Dohy Z. et al. The impact of COVID-19 on the preparation for the Tokyo Olympics: A comprehensive performance assessment of top swimmers. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, no. 18 (18), p. 9770. DOI: 10.3390/ijerph18189770
16.Fikenzer S., Kogel A., Pietsch C., Lavall D., Stöbe St., Rudolph U., Laufs U., Hepp P., Hagendorff A. SARS-CoV2 infection: Functional and morphological cardiopulmonary changes in elite handball players. *Sci. Rep*, 2021, no. 11 (1), p. 17798. DOI: 10.1038/s41598-021-97120-x
17.Moulson N., Gustus S.K., Scirica C., Petek B.J., Vanatta C., Churchill T.W., Guseh J.S., Baggish A., Wasfy M.M. Diagnostic evaluation and cardiopulmonary exercise test findings in young athletes with persistent symptoms following COVID-19. *Br. J. Sports Med*, 2022, no. 56 (16), pp. 927-932. DOI: 10.1136/bjsports-2021-105157
18.Landyr' A.P., Achkasov E.E., Medvedev I.B. Tests with controlled physical load in sports medicine. Moscow: Sport, 2019. p. 256. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Гукас Николаевич Тер-Акопов – кандидат экономических наук, генеральный директор ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: sk@fmbamail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Gukas Nikolaevich Ter-Akopov – Candidate of Economic Sciences, General Director of the FSBI "North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency", Essentuki, e-mail: sk@fmbamail.ru.

Для цитирования: Тер-Акопов Г. Н. Влияние гипоксии среднегорья и кратковременной гипероксии на динамику функциональных показателей спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в максимальном эргоспирометрическом тесте / Г. Н. Тер-Акопов // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_02_32

For citation: Ter-Akopov G.N. Effect of middle altitude hypoxia and short-term hyperoxia on the functional performance dynamics in divers during the maximum ergospirometric test. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_02_32