

УДК 612.273.2:612.223:612.67

Ключникова Елена Анатольевна, *ст. преподаватель*
Балькина Елена Сергеевна, *аспирант*
Евстигнеева Ольга Валерьевна, *к.б.н, доцент*
Антипов Игорь Викторович, *к.б.н, доцент*
Балькин Михаил Васильевич, *д.б.н., профессор*
кафедра АФК факультета ФКиР УлГУ, г. Ульяновск
Каркобатов Хасан Джолдубаевич, *д.б.н.*
Институт горной физиологии и медицины НАН КР

Klyuchnikova Elena Anatolyevna,
art. lecturer, department of theory and methods of physical culture and sports, faculty of physical culture and rehabilitation, Ulyanovsk State University, Ulyanovsk
Balykina Elena Sergeevna,
postgraduate student, department of adaptive physical education, faculty of physical education and rehabilitation, Ulyanovsk State University
Evstigneeva Olga Valerievna,
candidate of biological sciences, associate professor of the department of adaptive physical culture, faculty of physical culture and rehabilitation, Ulyanovsk State University, Ulyanovsk
Antipov Igor Viktorovich,
candidate of biological sciences, associate professor of the department of adaptive physical culture, faculty of physical culture and rehabilitation, Ulyanovsk State University, Ulyanovsk
Balykin Mikhail Vasilyevich,
doctor of biological sciences, professor, head of the department of adaptive physical education, faculty of physical education and rehabilitation, Ulyanovsk State University

ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИЧЕСКИХ ТРЕНИРОВОК НА ГАЗООБМЕН И ТРАНСПОРТ КИСЛОРОДА У ЛИЦ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА

Аннотация. В исследовании приняли участие мужчины в возрасте 60–65 лет. Курс прерывистой нормобарической гипоксии (ПНГ) проводили на протяжении 3 недель. До и после курса гипоксии определяли дыхательный объем, частоту и минутный объем дыхания, потребление кислорода, выделение углекислого газа, артериальное давление, минутный объем кровообращения, частоту сердечных сокращений, содержание эритроцитов, гемоглобина, насыщение, содержание и скорость транспорта кислорода артериальной кровью, кислородную емкость крови. До и после курса ПНГ определяли уровень общей физической работоспособности с использованием велоэргометрической пробы (PWC150) в модификации для лиц пожилого возраста. Установлено, что курс ПНГ приводит к повышению устойчивости организма к гипоксии, экономизации функций кардиореспираторной системы, при увеличении числа эритроцитов, гемоглобина, кислородной емкости крови и эффективности утилизации кислорода тканями, что способствует повышению общей физической работоспособности лиц пожилого возраста.

Ключевые слова: кровь, гемодинамика, кислородное обеспечение, работоспособность, пожилой возраст, гипоксия.

КАРЫ АДАМДАРДЫН ГАЗ АЛМАШУУ ЖАНА КЫЧКЫЛТЕКТИ ТАШУУСУНА ГИПОКСИЯЛЫК МАШЫГУУЛАРДЫН ТААСИРИ

Аннотация. Изилдөөгө 60–65 жаштагы эркектер катышкан. Үзгүлтүктүү нормобардык гипоксиянын (ҮНГ) курсу 3 жума бою жүргүзүлдү. Гипоксиянын жүрүшүнө чейин жана андан кийин, дем алуунун көлөмү, дем алуунун ылдамдыгы жана мүнөттүк көлөмү, кычкылтектин керектелиши, көмүр кычкыл газынын бөлүнүп чыгышы, кан басымы, кан айлануунун мүнөттүк көлөмү, жүрөктүн кагышы, эритроциттердин жана гемоглобиндин курамы, каныккандыгы, артериялык кан менен кычкылтек ташуунун ылдамдыгы, кандагы кычкылтектин сыйымдуулугу аныкталган. (ҮНГ) курсуна чейин жана андан кийин жалпы физикалык көрсөткүчтөрдүн деңгээлин улгайган адамдар үчүн модификацияда велосипед эргометрикалык үлгүлөрдүн (PWC150) колдонуу аркылуу аныкталган. (ҮНГ) курсу эритроциттердин, гемоглобиндин, кандын кычкылтек сыйымдуулугунун жогорулоосунда жана ткандар аркылуу кычкылтектин пайдалануу эффективдүүлүгүнүн көбөйүшү менен организмдин гипоксияга туруктуулугун жогорулатууга, жүрөк-дем алуу системасынын функцияларын үнөмдөөгө алып келүүсү улгайган адамдардын жалпы физикалык көрсөткүчтөрүн жогорулатууга өбөлгө түзөөрү аныкталды.

Негизги сөздөр: кан, гемодинамика, кычкылтек менен камсыз кылуу, эмгекке жөндөмдүүлүк, карылык, гипоксия.

THE EFFECT OF HYPOXIC TRAINING ON THE OXYGEN SUPPLY OF THE ELDERLY

Abstract. The study involved men aged 60–65 years. The course of intermittent normobaric hypoxia (APG) was carried out for 3 weeks. Before and after the course of hypoxia, respiratory volume, frequency and minute volume of respiration, oxygen consumption, carbon dioxide release, blood pressure, minute volume of blood circulation, heart rate, erythrocyte count, hemoglobin, saturation, content and rate of oxygen transport by arterial blood, oxygen capacity of blood were determined. Before and after the APG course, the level of general physical performance was determined using a bicycle ergometric test (PWC150) in a modification for the elderly. It has been established that the course of APG leads to an increase in the body's resistance to hypoxia, economization of the functions of the cardiorespiratory system, with an increase in the number of red blood cells, hemoglobin, oxygen capacity of blood and the efficiency of oxygen utilization by tissues, which contributes to an increase in the overall physical performance of elderly people.

Key words: blood, hemodynamics, oxygen supply, working capacity, old age, hypoxia.

Введение. Известно, что с возрастом формируются закономерные морфофункциональные преобразования в организме, которые сопровождаются снижением уровня окислительных процессов, изменениями дыхательной функции крови [2] и кардиореспираторной системы [4], создающими предпосылки для развития тканевой гипоксии и ограничения физической работоспособности [3]. Поиск эффективных средств воздействия на эти системы в различные возрастные периоды представляет актуальную проблему физиологии и медицины.

Цель исследования. Изучить влияние прерывистой нормобарической гипоксии на газообмен и транспорт кислорода у лиц пожилого возраста.

Материалы и методы исследования. В исследовании приняли участие 15 практически здоровых мужчин в возрасте 60–65 лет, которые не использовали фармакологических средств для коррекции кардио-респираторной системы и не предъявляли жалоб к своему здоровью. Все испытуемые получили подробную информацию и подписали добровольное согласие на участие в исследовании. Гипоксическое воздействие моделировалось с использованием гипоксикатора «Тибет-4» (Россия).

Для определения реактивности кардиореспираторной системы испытуемые на протяжении 5-ти минут дышали газовой смесью с содержанием O_2 18–15–13–10%, с пятиминутными интервалами нормоксии между гипоксическими воздействиями. Во время каждого гипоксического интервала и в период восстановления определяли динамику АД и ЧСС. Исходя

из полученных результатов, были определены режимы гипоксических тренировок.

Имеющиеся схемы прерывистой нормобарической гипоксии (ПНГ) в спорте и в терапии используют жесткие режимы гипоксии 10–8% O_2 [5]. С учетом возраста и реакций на гипоксию была разработана модель ступенчатого снижения содержания кислорода во вдыхаемом воздухе, состоящая из отдельных сеансов, которые включали чередование пятиминутных интервалов гипоксии и пятиминутных интервалов отдыха (нормоксия). Курс гипоксической тренировки проводили ежедневно, 6 раз в неделю на протяжении трех недель. На первой неделе гипоксическая тренировка проводилась по схеме: первый цикл – дыхание 18% O_2 , второй и третий цикл – 15% O_2 , четвертый и пятый цикл – 13% O_2 . Начиная со второй недели, процентное содержание O_2 во вдыхаемом воздухе составляло 15% O_2 с последующим снижением до 13–10% O_2 . На третьей неделе циклы ПНГ включали 13% O_2 , с последующим снижением до 10% O_2 .

До и после курса ПНГ оценивали функции внешнего дыхания (спирограф СМП-21/01 (Россия), с определением дыхательного объема (V_T), частоты (f) и минутного объема дыхания (VE). Потребление кислорода (VO_2) и выделение углекислого газа (VCO_2) в выдыхаемом воздухе определяли с использованием газоанализатора «Спиrolит-2» (Германия). Лабораторными методами определяли содержание эритроцитов (RBC), гемоглобина (Hb), насыщение ($СаO_2$), содержание O_2 (CaO_2) и скорость транспорта O_2 (qaO_2) артериальной кровью, кислородную емкость крови (КЕК). Рассчитывали содержание

O_2 в смешанной венозной крови (CvO_2), артерио-венозную разницу $C(a-v)O_2$, коэффициент утилизации кислорода тканями ($KUO_2, \%$) [1]. Систолическое (Ps) и диастолическое (Pd) артериальное давление определяли общепринятым методом (тонометр OMRONRX-3, Россия). Минутный объем кровообращения (Q), частоту сердечных сокращений (HR) определяли с использованием реографа «РЕАН-ПОЛИ» РГПА-6/12. До и после курса ПНГ определяли реакции кардио-респираторной системы на велоэр-

гометрическую нагрузку (2 Вт/кг). Полученные данные статистически обработаны с использованием пакета математических программ StatSoft 6.0.

Результаты исследования и их обсуждение. Установлено, что до курса ПНГ уровень потребления кислорода, RQ, частота сердечных сокращений и минутный объем кровообращения соответствует среднестатистическим возрастным нормам (табл.1).

Таблица 1.

Газообмен у лиц пожилого возраста до и после курса ПНГ ($m \pm m$)

Параметры	До курса ПНГ	После курса ПНГ	Разница показателей (%)
VO_2 , мл/мин*кг	5,8±0,2	6,7±0,4*	+15,5
VCO_2 , мл/мин*кг	5,4±0,7	5,9±0,2	+9,2
Q, л/мин	5,1±0,4	4,3±0,4	-15,6
RBC, $10^{12}/л$	4,8±0,1	5,5±0,4*	+14,5
КЕК, об. %	20,6±0,2	21,5±0,1*	+7,5
Hb, г/л	154,2±21,5	161,0±14,1	+4,4
Ca O_2 , об. %	18,3±0,3	19,8±0,4*	+8,1
$Cv O_2$, об. %	12,2±0,1	12,0±0,2	-1,6
$C(a-v)O_2$, об. %	6,1±0,4	7,8±0,3*	+27,8

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с показателями до курса ПНГ, $p \leq 0,05$.

После курса прерывистой нормобарической гипоксии уровень VO_2 у лиц пожилого возраста увеличивается на 15,5%, что связано с повышением артерио-венозной разницы на 1,7 об. % ($p \leq 0,05$). Эти изменения происходят в результате достоверного повышения CaO_2 , при увеличении содержания RBC на 14,5% ($p \leq 0,05$) и гемоглобина на 4,4%. Установлено, что после курса ПНГ происходит снижение Q, за счет снижения HR и стабилизации в верхней гра-

нице нормы артериального давления. Полученные данные показывают, что трехнедельный курс прерывистой нормобарической гипоксии у лиц пожилого возраста приводит к повышению эффективности тканевого дыхания при улучшении функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

Подтверждением этого является изменение реактивности кардиореспираторной системы при физической нагрузке (табл.2).

Таблица 2.

Реакции кардиореспираторной системы у лиц пожилого возраста при велоэргометрической нагрузке до и после курса ПНГ ($m \pm m$)

Параметры	До курса		После курса	
	Покой	Нагрузка (2 Вт/кг)	Покой	Нагрузка (2 Вт/кг)
V_E , л/мин	7,3±1,5	61,3±4,2	10,0±0,3*	52,8±3,1*
F, уд/мин	12,3±1,1	47,2±6,5	12,5±0,6	48,0±10,0
V_T , литр	0,6±0,1	1,3±0,1	0,8±0,03	1,1±0,07
Ps, мм.рт.ст.	139,0±2,3	178,4±8,0	130,5±7,5	159,0±3,0*
Pd, мм.рт.ст.	90,0±4,0	82,0±4,0	76,0±5,0	78,0±5,0
HR, уд/мин	79,6±5,2	94,4±2,2	72,5±6,5	93,3±2,6

Установлено, что минутный объем дыхания при стандартной велоэргометрической нагрузке (2Вт), до трехнедельного курса ПНГ, увеличивается в 8,4 раза ($p \leq 0,001$), после курса в 5,8 раз ($p \leq 0,001$).

Уровень артериального давления и HR после гипоксических воздействий изменяется в меньшей степени, что свидетельствует о снижении реактивности и повышении толерантности испытуемых к физической нагрузке. Результаты теста PWC150 показали прирост общей фи-

зической работоспособности в среднем на 6,3 % ($p < 0,05$).

Заключение. Трехнедельный курс ПНГ приводит к повышению устойчивости организма к гипоксии, экономизации функций кардиореспираторной системы, при увеличении числа эритроцитов, гемоглобина, кислородной емкости крови и эффективности утилизации кислорода тканями, что способствует повышению общей физической работоспособности лиц пожилого возраста.

Список литературы:

1. Балыкин М.В., Каркобатов Х.Д. Системные и органные механизмы кислородного обеспечения организма в условиях высокогорья // Российский физиол. журн. – 2012. – № 1. С. 127–136.
2. Ключникова Е.А., Аббазова Л.В., Лоханникова М.А., Ананьев С.С., Балыкин М.В. Влияние прерывистой нормобарической гипоксии на системную гемодинамику, биохимический состав крови и физическую работоспособность у лиц пожилого возраста. Ульяновский медико-биологический журнал. Ульяновск. – 2017. – № 4. – С. 155–164.
3. Коркушко О.В., Осмак Е.Д., Осмак Д.Д., Дужак Г.В. Устойчивость к гипоксии у людей пожилого возраста с гипертонической болезнью: влияние Кардиоаргина. Кровообіг та гемостаз, оригінальні дослідження. 2015. (1–2). – С. 31–37.
4. Кривошеков С.Г., Балиоз Н.В., Некипелова Н.В., Каплевич Л.В. Возрастные, гендерные и индивидуально-типологические особенности реагирования на острое гипоксическое воздействие. Физиология человека. 2014. – 40 (6). – С. 34–45.
5. Пупырева Е.Д., Балыкин М.В. Влияние гипоксической тренировки на физическую работоспособность и функциональные резервы организма спортсменов. Вестник ТвГУ «Биологии и экологии». 2011. – 21 (2). – С. 7–17.