

УДК 616.831-005:615.835.3-053. 9

**ИЗМЕНЕНИЯ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ  
И ЦЕРЕБРАЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ У ЛИЦ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА  
ПРИ ДЕЙСТВИИ ПРЕРЫВИСТОЙ НОРМОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ**

*Е.А. Ключникова, Р.Ш. Зайнеева, И.В. Антипов, С.С. Ананьев, М.А. Лоханникова,  
Л.В. Аббазова, М.В. Балыкин*

Нарушения мозгового кровообращения находятся на втором месте по частоте смертельных случаев в мире. Интерес вызывают сведения об использовании немедикаментозных воздействий на церебральные сосуды. В работе изучено влияние прерывистой нормобарической гипоксии на системную гемодинамику и мозговое кровообращение у лиц пожилого возраста.

Курс прерывистой нормобарической гипоксии способствует снижению и стабилизации артериального давления, увеличению кровенаполнения сосудов головного мозга, снижению сопротивления интракраниальных артериальных сосудов, снижению тонуса вен и венул у лиц в возрасте 55–65 лет. Предлагаемые режимы возрастной прерывистой нормобарической гипоксии могут быть рекомендованы для профилактики и коррекции системной и церебральной гемодинамики у лиц пожилого возраста.

*Ключевые слова:* пожилой возраст; нормобарическая гипоксия; гемодинамика; церебральное кровообращение.

---

**ҮЗГҮЛТҮКТҮҮ НОРМОБАРИКАЛЫК ГИПОКСИЯНЫН ТААСИРИНДЕ УЛГАЙГАН  
АДАМДАРДЫН СИСТЕМАЛУУ ГЕМОДИНАМИКАСЫНЫН  
ЖАНА ЦЕРЕБРАЛДЫК КАН АЙЛАНУУСУНУН ӨЗГӨРҮШҮ**

Мээнин кан айлануусунун бузулушунан улам өлүмгө учуроо дүйнөдө экинчи орунда турат. Церебралдык кан тамырларга медикаментоздук эмес таасир этүүнү пайдалануу тууралуу маалыматтар кызыгууну туудурууда. Бул эмгекте үзгүлтүктүү нормобарикалык гипоксиянын улгайган курактагылардын системалуу гемодинамикасына жана мээсинин кан айлануусуна тийгизген таасири изилдөөгө алынды. Үзгүлтүктүү нормобарикалык гипоксиянын курсу 55–65 жаштагы адамдардын артериалдык кан басымын төмөндөтүүгө жана турукташтырууга, баш мээсинин кан тамырларынын канга толусун жогорулатууга, артериалдык кан тамырлардын интракраниалдык каршылыгын, көк кан тамырдын тонусун төмөндөтүүгө түрткү берет. Үзгүлтүктүү нормобарикалык гипоксиянын сунушталган режимин улгайган курактагы адамдардын системалуу жана церебралдык гемодинамикасын алдын алуу жана түзөтүү үчүн сунуштоого болот.

*Түйүндүү сөздөр:* улгайган курак; нормобарикалык гипоксия; гемодинамика; церебралдык кан айлануу.

---

**CHANGES IN SYSTEMIC HEMODYNAMICS AND CEREBRAL CIRCULATION  
IN THE ELDERLY UNDER THE ACTION OF INTERMITTENT NORMOBARIC HYPOXIA**

*E.A. Klyuchnikova, R.Sh. Zaineeva, I.V. Antipov, S.S. Ananьев, M.A. Lohannikova,  
L.V. Abbazova, M.V. Balykin*

Disorders of cerebral circulation are on second place in the frequency of deaths in the world. Information about the use of non-drug effects on cerebral vessels is area of interest. The effect of intermittent normobaric hypoxia (INH) on systemic hemodynamics and cerebral circulation in the elderly is researched in this work. The course of intermittent normobaric hypoxia (INH) promotes decrease and stabilization of arterial pressure, increase of blood filling of vessels of a brain, decrease in resistance of intracranial arterial vessels, decrease in tone of veins and venules at persons aged 55–65 years. The proposed modes of increasing INH can be recommended for the prevention and correction of systemic and cerebral hemodynamics in elderly people.

*Keywords:* elderly age; normobaric hypoxia; hemodynamic; cerebral circulation.

**Актуальность.** С увеличением возраста происходят закономерные изменения сердечно-сосудистой системы. Особое место у лиц пожилого возраста занимают нарушения мозгового кровообращения, находящиеся на втором месте по частоте смертельных случаев [1]. Традиционно в профилактике и коррекции нарушений мозгового кровообращения используются средства фармакологической направленности, однако имеются сведения о возможном использовании немедикаментозных воздействий на церебральные сосуды с использованием гипоксических и гиперкапнических газовых смесей [2].

Имеющиеся в литературе сведения показали, что курс прерывистой нормобарической гипоксии повышает объемную и линейную скорость кровотока в сосудах головного мозга, приводит к изменению реактивности артериальных сосудов, улучшает венозное кровообращение [2]. Установлены реакции экстра- и интракраниальных сосудов на ее воздействие [3]. Показано, что гипоксия стимулирует процессы ангиогенеза, способствует улучшению мозгового кровообращения [4], перераспределению кровотока в различных отделах головного мозга [5]. Следует отметить, что сведения о саногенном эффекте прерывистой нормобарической гипоксии (ПНГ) в основном охватывают диапазон лиц молодого и зрелого возраста, что касается лиц пожилого и старческого возраста, эти исследования ограничены немногочисленными сообщениями [6].

В рамках проведенного исследования была поставлена цель – изучить влияние прерывистой нормобарической гипоксии на системную гемодинамику и мозговое кровообращение у лиц пожилого возраста.

**Методы исследования.** В исследовании приняли участие 15 мужчин в возрасте 55–65 лет, не имеющих хронических заболеваний. Гипоксическое воздействие моделировалось с использованием гипоксикатора «Тибет-4» (г. Новосибирск). Прерывистая нормобарическая гипоксическая тренировка (ПНГ) состояла из 15 сеансов, каждый из которых включал в себя 6 циклов: 5 минут дыхание гипоксической смесью со снижением содержания  $O_2$  (18–15–13–10 %) и пятиминутными интервалами нормоксии (дыхание атмосферным воздухом) между гипоксическими воздействиями по схеме, описанной нами ранее [7].

Перед исследованием у испытуемых измеряли систолическое (Ps) и диастолическое (Pd) артериальное давление с помощью тонометра OMRON RX-3 (Россия). Для оценки минутного объема дыхания (VE) использовали спирограф СМП-21/01 (Россия). Потребление кислорода ( $VO_2$ ) определяли с помощью газоанализатора «Спиrolит-2»

(Германия). Ударный объем крови (SV), минутный объем кровообращения (Q) и частоту сердечных сокращений (HR) определяли с использованием реографа «РЕАН-ПОЛИ» РГПА-6/12 (Россия) с грудным наложением электродов.

Для оценки состояния мозгового кровоснабжения применяли метод реоэнцефалографии с использованием аппарата «РЕАН-ПОЛИ» РГПА-6/12 (Россия). Динамику кровотока отслеживали во фронто-мастоидальном (FM) отведении с помощью наложения 6 электродов (стандартное наложение). Определялись следующие амплитудно-временные параметры: реографический (РИ) и диастолический (ДСИ) индексы, показатель периферического сопротивления сосудов (ППСС), максимальная скорость быстрого кровенаполнения (МСБКН).

Для исследования реактивности показателей мозгового кровотока до и после курса гипоксии использовали функциональную пробу со ступенчато-возрастающей гипоксией. Состояние мозгового кровообращения оценивали до и после трехнедельного курса ПНГ.

Полученные данные статистически обработаны с использованием пакета математических программ StatSoft 6.0.

**Результаты и обсуждение.** Результаты исследования показали, что в контрольных исследованиях (до курса ПНГ) в состоянии относительного мышечного покоя уровень VE, HR, Q соответствует среднестатистическим возрастным нормам (таблица 1). Уровень артериального давления находится в пределах повышенного нормального по классификации ВОЗ. Мониторинг артериального давления и HR во время гипоксических сеансов на первой неделе ПНГ свидетельствует, что во время отдельных интервалов Ps снижается и варьирует в диапазоне 125–135 мм рт. ст., Pd – в диапазоне 60–80 мм рт. ст. При этом в период нормоксии артериальное давление восстанавливается до уровня исходного. На второй и третьей неделе ПНГ диапазон колебаний артериального давления снижается при стабилизации Ps в пределах 120–130 мм рт. ст., Pd – 60–70 мм рт. ст. и стабильно сохраняется в этих пределах в период между гипоксическими сеансами.

В ранее проведенных исследованиях установлено, что если в группах юношеского и зрелого возраста пороговым является гипоксический стимул 13 %  $O_2$ , то в группе пожилого возраста изменения реакций сосудов головного мозга возникали при 15 %  $O_2$ . При этом уровне гипоксии появлялись признаки гипервентиляции и повышение минутного объема кровообращения, на фоне снижения HR и увеличения систолического выброса. Дальнейшее снижение  $O_2$  во вдыхаемом воздухе до 13 и 10 % сопровождалось количественным

Таблица 1 – Изменения газообмена и гемодинамики у лиц пожилого возраста до и после курса ПНГ при нормобарической гипоксии (M ± m)

Показатели		(Нормоксия) контроль	Содержание кислорода во вдыхаемом воздухе		
			18 %	15 %	13 %
VE, л/мин	до курса	13,5 ± 1,5	15,1 ± 0,9	18,2 ± 1,1*	18,9 ± 1,0*
	после курса	11,7 ± 1,4	14,5 ± 1,6	14,1 ± 1,2	16,0 ± 0,9*
Q, л/мин	до курса	5,1 ± 0,4	5,7 ± 2,5	5,9 ± 2,1	6,0 ± 1,7
	после курса	4,3 ± 0,4	4,5 ± 1,6	4,7 ± 2,3	5,1 ± 2,3
SV, мл	до курса	64,0 ± 5,2	70,0 ± 0,3	73,2 ± 0,2*	74,0 ± 0,2*
	после курса	73,0 ± 3,2	75,2 ± 1,7	77,3 ± 1,7	79,3 ± 2,1*
Ps, мм рт. ст.	до курса	139,0 ± 2,3	130,1 ± 4,5	128,0 ± 3,5	126,1 ± 2,4
	после курса	130,6 ± 3,6*	128,0 ± 2,6	126,2 ± 2,4	124,4 ± 2,01
Pd, мм рт. ст.	до курса	90,0 ± 4,0	84,0 ± 3,5	82,1 ± 4,5	81,2 ± 3,6*
	после курса	74,4 ± 2,2	72,1 ± 2,1	70,4 ± 2,3	69,9 ± 2,1
HR, уд/мин	до курса	79,6 ± 5,2	76,3 ± 3,6	75,2 ± 2,8	74,7 ± 1,4
	после курса	71,3 ± 4,6	71,8 ± 2,0	70,6 ± 1,3	69,4 ± 2,0

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

увеличением показателей газообмена и гемодинамики.

Исследование, проведенное после окончания трехнедельного курса ПНГ, показало, что уровень потребления  $O_2$ , легочной вентиляции и минутного объема кровообращения практически не изменяется и не отличается от данных в контроле (см. таблицу 1). При этом имеет место снижение HR на фоне повышения SV, что свидетельствует о повышении инотропных влияний на сердце и экономизации его деятельности. Эти изменения происходят на фоне снижения артериального давления, уровень которого после курса ПНГ достоверно снижается. Можно полагать, что при артериальной гипоксемии и тканевой гипоксии существенно возрастает роль местной (метаболической) регуляции сосудистого тонуса. Увеличение перфузии «жизненно» важных органов, при соответствующем уменьшении общего периферического сопротивления, очевидно, является причиной снижения системного артериального давления во время отдельных сеансов ПНГ [2]. При этом, по мере адаптации к гипоксии формируются морфофункциональные изменения в органах и тканях, включая пролиферацию сосудов микроциркуляции, улучшение кровоснабжения и доставки  $O_2$  при соответствующем повышении емкости сосудистого русла, что служит причиной стабильного снижения артериального давления после завершения курса ПНГ. Ранее нами было показано, что курс гипобарической гипоксии сопровождается структурными изменениями в миокарде, повышением активности антиоксидантной системы, увеличением количества капилляров в разных отделах миокарда

[4], существенно повышающих функциональный резерв сердца. Можно полагать, что совокупность подобных изменений сердечно-сосудистой системы имеет место и в проведенном исследовании, являясь причиной отмеченных в группе изменений. РИ составляет: слева – 0,124 Ом, справа – 0,132 Ом, а ДСИ – слева 82,25 %, справа – 81,25 %, что соответствует верхним границам нормы. Показатели ППСС составили слева 97,62 %, справа – 95,7 % и МСБКН – слева 1,62 Ом/с, справа – 1,68 Ом/с, что значительно превышает границы нормы, что может быть связано со структурными возрастными изменениями артериальных экстра- и интракраниальных сосудов [3].

При исследовании реактивности церебральных сосудов установлено, что при дыхании гипоксической газовой смесью (ГГС) с содержанием  $O_2$  18 % до гипоксического тренинга, достоверных реакций со стороны сосудов головного мозга не наблюдается. Реографический индекс слева снизился на 0,8 %, а справа увеличился на 0,75 %, МСБКН слева и справа уменьшился на 1,23 и 0,59 %, соответственно (таблица 2).

До курса ПНГ РИ при дыхании ГГС с содержанием  $O_2$  15 % понижается в правом полушарии на 24,24 %, а в левом – на 19,35 %, что очевидно, связано с увеличением легочной вентиляции, которая приводит к дыхательному алкалозу с возникновением гипокапнии. Вслед за понижением диастолического индекса, слева – на 6,62 %, справа – на 4,36 %, происходит понижение показателя периферического сопротивления сосудов. Снижение ППСС в правом полушарии на 13,68 %, в левом

Таблица 2 – Реакции мозгового кровообращения (фронтально-мастоидальное отведение) при ступенчато-возрастающей гипоксии у лиц пожилого возраста до курса ПНГГ ( $M \pm m$ )

Показатели	Нормоксия (контроль)	Содержание кислорода во вдыхаемом воздухе						
		18 %	Имз., %	15 %	Имз., %	13 %	Имз., %	
РИ, Ом	слева	0,124±0,02	0,123±0,07	-0,8	0,1±0,03	-19,35	0,130±0,01	+4,83
	справа	0,132±0,03	0,133±0,05	+0,75	0,11±0,04	-24,24	0,137±0,01	+3,78
ППСС, %	слева	97,62±14,13	98,11±13,45	+0,5	86,4±7,57	-11,49	84,0±10,65	-13,95
	справа	95,7±11,61	95,01±7,82	-0,72	82,6±8,7	-13,68	80,2±13,39	-16,19
МСБКН, Ом/с	слева	1,62±0,19	1,60±0,19	-1,23	1,53±0,17	-5,55	1,5±0,13	-7,4
	справа	1,68±0,33	1,67±0,28	-0,59	1,52±0,27	-9,52	1,4±0,4	-11,3
ДСИ, %	слева	82,25±8,3	81,8±10,51	-0,54	76,8±6,95	-6,62	74,0±7,88	-10,03
	справа	81,25±7,93	80,0±8,4	-1,53	77,7±27,79	-4,36	75,6±10,67	-6,95

Примечание. \* – различия достоверны по сравнению с показателями при нормоксии;  $p \leq 0,05$ .

Таблица 3 – Реакции мозгового кровообращения (фронтально-мастоидальное отведение) при ступенчато-возрастающей гипоксии у лиц пожилого возраста после курса ПНГГ ( $M \pm m$ )

Показатели	Контроль	Имз., %	Содержание кислорода во вдыхаемом воздухе						
			18 %	Имз., %	15 %	Имз., %	13 %	Имз., %	
РИ, Ом	слева	0,11±0,01	-11,29	0,1±0,09	-9,09	0,11±0,03	0	0,19±0,02	+72,72
	справа	0,1±0,02	-24,24	0,1±0,05	0	0,11±0,01	+10	0,2±0,03	+100
ППСС, %	слева	77,3±13,54	-20,81	75,99±16,62	-1,69	74,88±13,42	-3,13	70,2±8,96	-9,19
	справа	76,45±4,58	-20,11	75,2±11,5	-1,63	75,76±7,93	-0,9	71,33±16,44	-6,69
МСБКН, Ом/с	слева	1,4±0,14	-21,54	1,38±0,17	-1,42	1,36±0,21	-2,85	1,17±0,12	-16,42
	справа	1,38±0,5	-21,34	1,36±0,14	-1,42	1,34±0,11	-2,89	1,1±0,15	-20,28
ДСИ, %	слева	66,2±15,5	-19,51	65,1±7,02	-1,66	63,12±13,22	-4,65	60,66±14,83	-8,36
	справа	64,33±3,28	-20,82	63,66±10,49	-1,04	62,23±11,6	-3,26	60,03±23,78	-6,68

Примечание. \* – различия достоверны по сравнению с показателями при нормоксии;  $p \leq 0,05$ .

полушарии – на 11,49 %, свидетельствует о компенсаторной вазодилатации мелких артериальных сосудов. Увеличение гипоксической нагрузки, снижение содержания  $O_2$  во вдыхаемом воздухе до 13 % приводит к увеличению РИ слева на 4,83 %, справа – на 3,78%. При этом ДСИ снижается слева на 10,03 %, справа – на 6,95 % и показатель ПСС снижается слева на 13,95 %, справа – на 16,91 %.

Результаты исследования показали, что в контрольных исследованиях после трехнедельного курса нормобарической гипоксии объемное пульсовое кровенаполнение слева снижается на 11,29 %, а справа – на 24,24 %, венозный отток снижается до нижней границы нормы. Тонус резистивных сосудов снижается до нижней границы нормы. Тонус артерий распределения снижается слева на 19,51 %, справа – на 20,82 % и находится в границах нормы.

Также по результатам исследования видно, что после курса ПНГ реактивность церебральных сосудов при гипоксии 18–15–13 %  $O_2$  меняется (таблица 3). Так, если до курса ПНГ при дыхании ГГС 18 %  $O_2$  артериальный приток и венозный отток снижались и изменялись при ГГС 15 %  $O_2$ , то после курса ПНГ реакция сосудов сонных артерий на ГГС 18–15%  $O_2$  практически отсутствует, а при ГГС 13 %  $O_2$  РИ повышается в правом полушарии на 72,72 %, в левом – на 100 %. Венозный отток также имеет тенденцию к понижению. ДСИ слева снижается на 8,36 %, справа – на 6,68 %. ПСС снижается на 9,19 и 6,69 %, соответственно.

Эти данные свидетельствуют о том, что в процессе адаптации к прерывистой нормобарической гипоксии у мужчин пожилого возраста реактивность на ее действие снижается, что является

закономерным проявлением специфической адаптации и повышения толерантности к дефициту  $O_2$ .

Результаты исследования показали: используемая схема нарастающих гипоксических воздействий приводит к улучшению деятельности сердечно-сосудистой системы, увеличению кровенаполнения сосудов головного мозга, скорости кровотока по внутричерепным артериям и снижению тонуса вен и венул.

#### **Заключение**

Трехнедельный курс прерывистой нормobarической гипоксии со ступенчатым уменьшением содержания  $O_2$  в газовой смеси способствует снижению и стабилизации артериального давления. Модель ступенчатого снижения  $O_2$  во вдыхаемом воздухе может быть рекомендована для профилактики и коррекции нарушений системной гемодинамики и церебрального мозгового кровообращения у лиц пожилого возраста.

#### **Литература**

1. Скворцова В.И. Тромболитическая терапия при ишемическом инсульте: методическое пособие / В.И. Скворцова, Ю.Д. Волынский, Т.В. Губский. М., 2011. 48 с.
2. Балыкин М.В. Реактивность мозгового кровообращения при повторных гипоксически-гиперкапнических воздействиях / М.В. Балыкин, Т.Г. Макарова, И.В. Антипов // Вестник ТвГУ, Серия «Биология и экология». 2008. Вып. 7. С. 20–25.
3. Коркушко О.В. Устойчивость к гипоксии у людей пожилого возраста с гипертонической болезнью: влияние Кардиоаргина / О.В. Коркушко и др. // Кровообіг та гемостаз, оригінальні дослідження. 2015. № 1–2. С. 31–37.
4. Балыкин М.В. Системные и органные механизмы кислородного обеспечения организма в условиях высокогорья / М.В. Балыкин, Х.Д. Каркобатов // Российский физиологический журнал. 2012. № 1. С. 127–136.
5. Серебровская Т.В. Опыт использования интервальной гипоксии для предупреждения и лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы / Т.В. Серебровская, В.Б. Шагило // Кровообіг та гемостаз. 2014. № 1–2. С. 16–33.
6. Ключникова Е.А. Влияние прерывистой нормobarической гипоксии на системную гемодинамику, биохимический состав крови и физическую работоспособность у лиц пожилого возраста / Е.А. Ключникова, Л.В. Аббазова, М.А. Лоханникова и др. // Ульяновский медико-биологический журнал. 2017. № 4. С. 155–164.
7. Сороко С.И. Компенсаторная роль системы кровообращения при острой гипоксической гипоксии у человека / С.И. Сороко, Э.А. Бурых // Экология человека. 2014. № 3. С. 30–36.