

<https://doi.org/10.33647/2074-5982-15-2-24-33>

ИМПУЛЬСНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕНИРОВОЧНОЙ НОРМОБАРИЧЕСКОЙ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ГИПОКСИИ У КРЫС

О.М. Лабынцева, О.А. Захарова*, Ю.Е. Ананьева, Е.Г. Рохмистрова, Е.П. Лобкаева

ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр —
Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»
607190, Российская Федерация, Нижегородская обл., г. Саров, ул. Пушкина, д. 3

В работе приведены результаты исследований влияния комбинированного воздействия курса умеренной нормобарической гипоксии (НГТ) и импульсного магнитного поля (ИМП) на неспецифическую резистентность и устойчивость организма крыс к острой гипоксии. Установлено, что совместное применение курса умеренной НГТ и ИМП сопровождалось эффектами аддитивности и характеризовалось повышением неспецифической резистентности крыс к острой гипоксической гипоксии.

Ключевые слова: умеренная нормобарическая гипоксия, импульсное магнитное поле, острая гипоксическая гипоксия, неспецифическая резистентность, параметры крови

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лабынцева О.М., Захарова О.А., Ананьева Ю.Е., Рохмистрова Е.Г., Лобкаева Е.П. Импульсное магнитное поле как средство повышения эффективности тренировочной нормобарической интервальной гипоксии у крыс. *Биомедицина*. 2019;15(2):24–33. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-15-2-24-33>

Поступила 06.02.2019

Принята после доработки 05.03.2019

Опубликована 10.06.2019

PULSED MAGNETIC FIELD AS A MEANS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF NORMOBARIC INTERVAL HYPOXIA TRAINING IN RATS

Olga M. Labyntseva, Olga A. Zakharova*, Juliya E. Ananieva, Elena G. Rokhmistrova,
Yevgeniya P. Lobkayeva

Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics
607190, Russian Federation, Nizhny Novgorod region, Sarov, Pushkina str., 3

This paper presents the results of investigations aimed at studying the combined effect of the course of moderate normobaric hypoxia (MNH) and pulsed magnetic field (PMF) on nonspecific resistance to acute hypoxia in rats. It is established that the combined application of MNH and PMF is followed by the effects of additivity, thus increasing the nonspecific resistance of rats to acute hypoxic hypoxia.

Keywords: moderate normobaric hypoxia, pulsed magnetic field, acute hypoxic hypoxia, nonspecific resistance, blood parameters

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Labyntseva O.M., Zakharova O.A., Ananieva Ju.E., Rokhmistrova E.G., Lobkayeva Ye.P. Pulsed Magnetic Field as a Means of Increasing the Efficiency of Normobaric Interval Hypoxia Training in Rats. *Journal Biomed*. 2019;15(2):24–33. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-15-2-24-33>

Submitted 06.02.2019

Revised 05.03.2019

Published 10.06.2019

Введение

Устойчивость организма к гипоксии является одним из фундаментальных предметов исследования как прикладной физиологии, так и авиационной и спортивной медицины. В настоящее время разработан целый арсенал средств и методов, модифицирующих устойчивость организма к гипоксии, основными из которых являются тренировка испытуемых и специальные фармакологические средства [1, 19, 21, 23]. В клинической практике одним из эффективных и научно обоснованных методов повышения устойчивости к острому гипоксическому состоянию является метод нормобарической интервальной гипоксии (НИГ). Данный метод, относящийся к естественным стресс-факторам, способен активизировать компенсаторно-приспособительные механизмы организма к воздействию целого ряда экстремальных факторов внешней среды [7, 14, 19, 20, 27]. Известно, что при комплексном использовании с другими методами специфической и неспецифической тренировки НИГ обладает потенциальной возможностью интенсификации адаптивной перестройки в организме [5, 6, 16, 18]. В физиотерапевтической практике широко применяется метод магнитотерапии, в основе эффективности которого лежит биологическое действие, направленное на повышение неспецифической резистентности организма без стрессового и субстрессового напряжения его физиологических функций [22]. В настоящем исследовании в качестве одного из методов повышения эффективности НИГ предложено применение импульсного магнитного поля. Ранее нами было показано [12], что низкочастотное импульсное магнитное поле с заданными параметрами, генерируемое установкой «Бутон», приводит к развитию адаптивных реакций в ответ на гипоксическое воздействие.

Цель работы состояла в исследовании влияния комбинированного воздействия курса умеренной нормобарической гипоксии и импульсного магнитного поля на неспецифическую резистентность организма и устойчивость крыс к острой гипоксии.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на половозрелых белых беспородных крысах-самцах массой 180–220 г в количестве 160 особей, которые были приобретены в питомнике «Андреевка» ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА России» (Московская область). Животные содержались в условиях вивария на стандартном пищевом рационе при естественной смене дня и ночи.

Животные были разделены на 4 группы по 40 особей: 1 группа — контроль, 2 группа подвергалась нормобарической гипоксической гипоксии (НГГ), 3 группа — воздействию импульсного магнитного поля (ИМП) и 4 группа — сочетанному действию НГГ и ИМП (табл. 1). Каждая из групп делилась на две равные подгруппы. У животных первой подгруппы проводилось изучение изменения устойчивости к острой гипоксической гипоксии в условиях моделируемого острого гипоксического состояния. У животных второй подгруппы по изменению состояния системы крови оценивали общую неспецифическую резистентность организма.

Нормобарическая гипоксическая тренировка представляла собой курс, состоящий из 14-ти сеансов дыхания гипоксической газовой смесью (ГГС), проводимых ежедневно. Продолжительность сеанса гипоксии в первый день составляла 15 мин непрерывного вдыхания ГГС. В дальнейшем длительность сеансов ежедневно увеличивали на 5 мин, к 4-му дню она достигала

Таблица 1. Распределение животных по группам
Table 1. Distribution of animals by groups

Группа	Количество животных, особей	Схема воздействия			
		НГГ, 14 дней	МП*, однократно	ОГГ, однократно	Забор крови, через сутки
Контроль	20	МВ	МВ	+	-
	20	МВ	МВ	-	+
НГГ	20	+	-	+	-
	20	+	-	-	+
МП	20	МВ	+	+	-
	20	МВ	+	-	+
НГГ+МП	20	+	+	+	-
	20	+	+	-	+

Примечание: * — воздействие МП осуществлялось непосредственно после последнего сеанса НГГ.
Note: * — exposure to magnetic field was carried out immediately after the last session of NHH (normobaric hypoxic hypoxia).

30 мин и оставалась неизменной до 14-го дня. Содержание кислорода в ГГС составляло 5% на протяжении всего курса. Для стандартизации экспериментов подаваемый в бокс с животным поток газа был выбран в диапазоне $10 \pm 0,05$ л/мин. Обработку крыс проводили в гипоксикаторе групповым методом по 10 особей.

Воздействие импульсным магнитным полем осуществлялось с использованием магнитогенератора «Бутон» (свидетельство на товарный знак № 386501 от 03.12.2007) со значением модуля магнитной индукции в центре рабочей зоны индуктора до $3,5 \pm 0,2$ мТл, формой сигнала вида затухающей синусоиды $U(t) = U_0 \cdot e^{-at} \cdot \sin \omega t$, при $U_0 = 150-300$ В, частотой ≈ 100 Гц, частотой следования импульсов $1,0 \pm 0,1$ Гц.

Для обработки магнитным полем животных помещали в контейнер с прозрачными стенками без ограничения движения, который размещали в рабочей зоне установки. Воздействие магнитным полем осуществляли тотально в течение 30 мин, со сменной максимального значения модуля магнитной индукции каждые 10 мин по схеме 1,5–3,2–1,5 мТл. Тестирование параметров магнитного поля проводили однокомпонентным тесламетром ТП2-2У.

Определение устойчивости организма к развитию патофизиологических процессов по времени развития стадий возбуждения, судорог и комы проводили путем моделирования острого гипоксического состояния (ОГС) с помощью гипоксической газовой смеси (ГГС), содержащей 1% кислорода и 99% азота, спустя сутки после окончания последнего воздействия.

Забор крови осуществляли путем декаптации спустя сутки после окончания последнего воздействия. Клинико-биохимические исследования крови проводили стандартными клиническими методами [15].

Проверка на нормальность распределения проведена с использованием W-теста Шапиро — Уилка [8, 13]. Оценка статистической значимости различий средних значений показателей двух независимых групп проведена с использованием t-критерия Стьюдента (при нормальном распределении данных) и U-критерия Манна — Уитни (при распределении отличном от нормального) с вероятностью $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Данные, полученные в ходе экспериментального исследования, представлены в таблицах 2–5. Анализ результатов показал,

что адаптация крыс к умеренной гипоксии привела к статистически значимому увеличению времени наступления стадий острого гипоксического состояния у крыс группы НГГ при сравнении с исходными значениями показателей ОГС. Время наступления стадии судорог и стадии комы увеличилось в 1,3 раза ($p \leq 0,001$) и в 1,5 раза ($p \leq 0,001$) соответственно. В среднем крысы группы НГГ после воздействия острой гипоксии в коме пребывали в 5,5 раза ($p \leq 0,001$) дольше исходного среднего значения данного показателя этих крыс. Время наступления стадии агонии смещалось в сторону увеличения и составляло $66,80 \pm 3,84$ с, что в 2,7 раза ($p \leq 0,001$) больше в сравнении с исходным уровнем (табл. 2).

При сравнении данных вторичного воздействия острой гипоксии на крыс групп НГГ и МВ получены аналогичные результаты сравнения крыс группы НГГ со своим исходным уровнем: статистически значимое увеличение наступления всех стадий ОГС.

В результате исследования получено увеличение времени наступления стадий острого гипоксического состояния у крыс группы НГГ при сравнении с контролем. Так, время наступления стадии судорог увеличилось в 1,3 раза ($p \leq 0,001$), а стадии комы — в 1,5 раза ($p \leq 0,001$). Время наступления стадии агонии смещалось в сторо-

ну увеличения и составляло $66,80 \pm 3,84$ с, что в 2,7 раза ($p \leq 0,001$) больше в сравнении с уровнем контроля. Данные изменения свидетельствуют о развитии адаптивных процессов к умеренной гипоксической гипоксии.

В ходе клинико-биохимического исследования крови (табл. 3) получено увеличение концентрации глутатиона на 8% ($p \leq 0,05$) при недостоверном росте концентрации МДА, увеличение фагоцитарной активности (ФА) на 37% ($p \leq 0,001$) и фагоцитарного числа (ФЧ) на 63% ($p \leq 0,001$), а также увеличение числа формазан-положительных нейтрофилов в 1,48 раза ($p \leq 0,001$) в НСТсп-тесте при неизменном их количестве в НСТинд-тесте относительно контроля (табл. 5). Повышение активности антиоксидантной системы и изменение метаболической активности нейтрофилов указывают на формирование адаптивного эффекта и повышение активности клеточного звена неспецифической резистентности организма к нормобарической гипоксии. Увеличенное количество лейкоцитов (на 21%, $p \leq 0,05$) указывает на формирование структурного следа адаптации к умеренной гипоксической гипоксии в течение заданного промежутка времени (14 дней).

Воздействие ИМП не оказывало влияния на развитие патофизиологических процессов. Время наступления стадии клонико-

Таблица 2. Сравнительный анализ времени начала стадий острого гипоксического состояния у животных между экспериментальными группами НГГ, МП и (НГГ+МП)

Table 2. Comparative analysis of the time of the onset of acute hypoxic state stages in the animals between experimental groups of NHH, MF and (NHH+MF)

Группы	Время наступления стадий ОГС, с		
	T1 (судороги)	T2 (кома)	T3 (начало агонии)
Контроль	$11,45 \pm 0,37$	$17,10 \pm 0,34$	$25,30 \pm 0,73$
НГГ	$14,85 \pm 0,47^{***}$	$24,55 \pm 0,51^{***}$	$66,80 \pm 3,84^{***}$
МП	$11,15 \pm 0,39$	$17,40 \pm 0,55$	$24,75 \pm 0,99$
НГГ+МП	$13,70 \pm 0,67^{***}$	$28,05 \pm 0,80^{***\wedge\wedge}$	$73,90 \pm 4,23^{***}$

Примечание: *** — достоверное отличие от контроля, критерий Стьюдента, $p \leq 0,001$; ^^ — достоверное отличие от НГГ, критерий Стьюдента, $p \leq 0,001$.

Note: *** — significant difference from the control, Student's test, $p \leq 0.001$; ^^ — significant difference from NHH, Student's test, $p \leq 0.001$.

Таблица 3. Результаты гематологических исследований
Table 3. Results of hematological studies

Показатели крови	Тип воздействия			
	МВ (контроль)	МП	НГГ	НГГ+МП
Количество эритроцитов, $10^{12}/л$	7,43±0,11	7,23±0,22	7,46±0,13	7,59±0,19
Hb, г/л	127,34±2,51	134,72±2,98	130,67±2,27	138,68±2,79**^
Ht, %	39,58±0,48	41,30±0,47*	40,21±0,41	40,74±0,34
МСН, пг	17,19±0,39	19,07±0,88*	17,58±0,38	18,40±0,61*
МСНС, г/дл	32,21±0,61	32,74±0,71	32,41±0,58	34,01±0,64*
MCV, фл	53,46±0,98	58,35±2,47	54,02±1,03	54,18±1,26
Количество ретикулоцитов, ‰	15,93±1,56	20,86±1,39*	15,45±1,50	19,61±1,42^
Количество лейкоцитов, $10^9/л$	11,29±0,69	10,19±0,69	13,69±0,94*	12,05±0,87
Лимфоциты, %	80,30±1,57	81,20±1,36	84,35±1,09*	84,53±1,75*
Палочкоядерные нейтрофилы, %	0,20±0,12	0,07±0,02*	0,40±0,12	0,37±0,14
Сегментоядерные нейтрофилы, %	15,90±1,58	11,90±1,03	11,45±1,10*	12,58±1,52
Эозинофилы, %	3,45±0,49	2,60±0,56	2,70±0,39	2,21±0,46*
Моноциты, %	0,15±0,08	0,55±0,16*	0,90±0,21**	0,26±0,13

Примечание: * — достоверное отличие от контроля, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$; ** — достоверное отличие от контроля, критерий Стьюдента, $p \leq 0,01$; ^ — достоверное отличие от НГГ, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$.
Note: * — significant difference from the control, Student's test, $p \leq 0,05$; ** — significant difference from the control, Student's test, $p \leq 0,01$; ^ — significant difference from NHH, Student's test, $p \leq 0,05$.

Таблица 4. Состояние системы перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты
Table 4. The state of the system of lipid peroxidation and antioxidant protection

Показатели крови	Тип воздействия			
	МВ (контроль)	МП	НГГ	НГГ+МП
МДА, мкмоль/мл	1,83±0,05	1,86±0,05	2,01±0,07	1,82±0,05^
Каталаза, моль/(мин×л)	6,41±0,10	5,99±0,12*	6,19±0,14	6,30±0,08
Восстановленный глутатион, мкмоль/мл эр. взвеси	2,34±0,05	2,53±0,04*	2,52±0,06*	2,47±0,04*

Примечание: * — достоверное отличие от контроля, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$; ^ — достоверное отличие от НГГ, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$.
Note: * — significant difference from the control, Student's test, $p \leq 0,05$; ^ — significant difference from NHH, Student's test, $p \leq 0,05$.

Таблица 5. Фагоцитарная и метаболическая активность нейтрофилов
Table 5. Phagocytic and metabolic activity of neutrophils

Показатели крови	Тип воздействия			
	МВ (контроль)	МП	НГГ	НГГ+МП
Фагоцитарная активность, %	50,55±1,39	59,25±2,06***	69,40±1,09***	59,75±1,58***^
Фагоцитарное число, частица	10,09±0,27	16,00±0,66***	16,51±0,36***	11,76±0,44***^
% НСТсп	13,37±0,50	13,53±1,28	19,83±1,01***	35,32±2,15***^
% НСТинд	27,64±1,28	24,75±1,89	29,55±1,45	40,25±2,39***^

Примечание: *** — достоверное отличие от контроля, критерий Стьюдента, $p \leq 0,001$; ^^ — достоверное отличие от НГГ, критерий Стьюдента, $p \leq 0,001$.
Note: *** — significant difference from the control, Student's test, $p \leq 0,001$; ^^ — significant difference from the NHH group, Student's test, $p \leq 0,001$.

тонических судорог, комы и агонии не отличалось от соответствующих контрольных показателей. При анализе показателей крови отмечено формирование защитно-компенсаторных реакций в ответ на предъявленное воздействие. Об этом свидетельствует рост количества ретикулоцитов в 1,31 раза ($p \leq 0,05$), увеличение уровня гематокрита на 4% ($p \leq 0,05$) и средней концентрации гемоглобина в эритроците (МСН) на 10,9% ($p \leq 0,05$). Импульсное магнитное поле практически не оказывало влияния на процессы перекисного окисления липидов, о чем свидетельствует недостоверное изменение в пределах физиологических значений уровня МДА. Однако имела место реакция со стороны антиоксидантной системы: уровень восстановленного глутатиона повышался на 8% ($p \leq 0,05$). Отмечено увеличение поглотительной способности нейтрофилов: ФА повысилась на 17% ($p < 0,001$), ФЧ на 58% ($p \leq 0,001$). При этом применяемый физический фактор не оказывал влияния на кислородзависимые процессы в нейтрофильных лейкоцитах.

Комбинированное воздействие курса умеренной нормобарической гипоксии и ИМП со специально подобранными характеристиками приводило к достоверному увеличению резервного времени начала судорог в 1,24 раза ($p \leq 0,001$), времени наступления комы в 2,4 раза ($p \leq 0,001$) и 1,6 раза ($p \leq 0,001$) соответственно, а время начала агонии — в 2,9 раза ($p \leq 0,001$). При этом время наступления стадии комы было больше на 14% ($p \leq 0,001$), чем при тренировке нормобарической гипоксии. Данные изменения указывают на выраженное прекондиционирующее действие комбинации факторов (НГТ и ИМП), существенно увеличивающее устойчивость организма к острой гипоксической гипоксии.

При исследовании показателей системы крови получено увеличение уровня гемоглобина на 9% ($p \leq 0,01$) относительно контроля и на 6% ($p \leq 0,05$) от группы НГТ. Увеличи-

лось содержание гемоглобина в эритроците (МСН) на 7% ($p \leq 0,05$) и средняя концентрация гемоглобина в эритроците (МСНС) на 6% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольным уровнем без изменения количества эритроцитов, что свидетельствует о стимуляции газотранспортной функции крови. Повышение количества ретикулоцитов указывает на стимулирующее действие комбинации факторов на эритропоэз. Рост уровня глутатиона на 5% ($p \leq 0,05$) относительно контроля также указывает на повышение устойчивости животных к гипоксическому воздействию [3]. Уровень вторичного продукта перекисного окисления липидов (МДА) снизился на 10% ($p \leq 0,05$) относительно группы животных, подвергавшихся воздействию умеренной нормобарической гипоксии.

Сочетанное воздействие магнитного поля и умеренной НГТ привело к повышению поглотительной способности и метаболической активности нейтрофилов относительно контрольного уровня. При сравнении данных показателей с группой НГТ получено достоверное снижение фагоцитарной активности нейтрофилов на 16% ($p \leq 0,001$) и фагоцитарного числа на 40% ($p \leq 0,001$). С другой стороны, при проведении спонтанного НСТ-теста получили увеличение процента формазан-положительных клеток на 78% ($p \leq 0,001$). В индуцированном тесте число НСТ-положительных нейтрофилов достоверно больше на 36% ($p \leq 0,001$).

Обсуждение результатов

Обобщение материалов по исследованию комбинированного воздействия экспериментальных факторов показало, что однократное применение ИМП вызывало ряд реакций, направленных, с одной стороны, на компенсацию двухнедельного действия умеренной НГТ, а с другой стороны, на еще большее повышение резервных мощностей организма и устойчивости к экстремальному фактору — острой гипоксии. Известно,

что при комбинации двух факторов, имеющих влияние на одинаковые системы, биологический эффект будет выражен сильнее, чем при комбинации факторов, влияющих на разные системы [9, 24]. По степени чувствительности различных систем организма к действию магнитного поля первое место занимает нервная система [3, 17, 26], стимуляция которой обуславливает адаптационный эффект и к нормобарической гипоксии [2, 11].

Биоэффект, полученный в ходе исследования комбинированного воздействия умеренной нормобарической гипоксической гипоксии и импульсного магнитного поля, выражался в их антигипоксическом прекодиционирующем действии. В результате чего существенно увеличивалась устойчивость организма к воздействию острой гипоксии: отсрочивалось время до наступления миорелаксации на 14% ($p \leq 0,001$) относительно аналогичного показателя при моновоздействии умеренной гипоксии. Совместное применение факторов сопровождалось преимущественно эффектами аддитивизма и характеризовалось более выраженной устойчивостью животных к ОГС по сравнению с их изолированным воздействием. Высокая устойчивость к острой гипоксии обеспечивалась развитием адаптивных гемических сдвигов (ретикулоцитоз, повышение концентрации гемоглобина) и увеличением неспецифической резистентности организма, повышая эффективность неспецифических клеточных механизмов естественной защиты. Повышение содержания гемоглобина в крови приводит

к увеличению скорости транспорта кислорода артериальной кровью, что обеспечивает улучшение снабжения кислородом головного мозга [1]. На адаптивное развитие функциональной активности антиоксидантной системы указывало и достоверное увеличение в эритроцитах концентрации восстановленного глутатиона. По анализу результатов изменения состояния системы ПОЛ можно говорить, что импульсное магнитное поле нивелировало эффект повышения пероксидации в сыворотке крови, вызываемый действием НГТ.

Выводы

1. Курс умеренной нормобарической гипоксической гипоксии вызывает в организме крыс формирование структурного следа адаптации, что определяет прекодиционирующий антигипоксический эффект при воздействии острой гипоксической гипоксии.

2. Однократное применение низкочастотного импульсного магнитного поля с индукцией от 1,5 до 3,2 мТл в выбранных режимах вызывает защитно-компенсаторные реакции в организме крыс, что выражается в увеличении содержания ретикулоцитов, активации антиоксидантной системы и стимуляции клеточного звена иммунитета.

3. Совместное применение курса умеренной нормобарической гипоксической гипоксии и импульсного магнитного поля сопровождается преимущественно эффектами аддитивности и характеризуется повышением неспецифической резистентности крыс к острой гипоксической гипоксии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Абазова З.Х., Колчинская А.З., Кумыков В.К., Хацуков Б.Х. Интервальная гипоксическая тренировка в курсе лечения миопии. *Вестник новых медицинских технологий*. 2000; VII(2):87–89. [Abazova Z.Kh., Kolchinskaya A.Z., Kumykov V.K., Khatukov B.Kh. Interval'naya gipoksicheskaya trenirovka v kurse lecheniya miopii [Interval hypoxic training in the treatment of myopia]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij* [Bulletin of new medical technologies]. 2000; VII(2):87–89. (In Russian)].
2. Айдаралиев А.А. Физиологические механизмы адаптации и пути повышения резистентности организма к гипоксии. Фрунзе: Илим, 1978. 190 с. [Ajdraliev A.A. *Fiziologicheskie mekhanizmy adaptatsii i puti povysheniya rezistentnosti organizma k gipoksii* [Physiological mechanisms of adaptation

- and ways to increase the body's resistance to hypoxia]. Frunze: Ilym, 1978. 190 p. (In Russian)].
3. Айрацетян С.Н., Айрацетян Г.С., Саркисян М.А. О механизмах действия электромагнитных волн низкой частоты (ЭМВ НЧ) на вибрацию клетки. В кн.: *Электромагнитные поля и здоровье человека. Функциональные и прикладные исследования: Мат-лы III Межд. конф.* М., 2002. С. 32. [Ajratsetyan S.N., Ajratsetyan G.S., Sarkisyan M.A. O mekhanizmah dejstviya elektromagnitnykh voln nizkoj chastoty (EMV NCh) na vibraciju kletki [On the mechanisms of action of low frequency electromagnetic waves (EMW LF) on cell vibration]. *V kn.: Elektromagnitnye polya i zdorov'e cheloveka. Funkcional'nye i prikladnye issledovaniya: Mat-ly III Mezhd. konf.* [In the book: *Electromagnetic fields and human health. Functional and applied research: Materials of the III International Conference*]. Moscow, 2002. P. 32. (In Russian)].
 4. Байбурина Г.А., Нургалеева Е.А., Шибкова Д.З., Башкатов С.А. Процессы липопероксидации в почках после ишемии-реперфузии у крыс с различной устойчивостью к гипоксии. *Фундаментальные исследования*. 2015;(2 ч. 8):1694–98. [Bajburina G.A., Nurgaleeva E.A., Shibkova D.Z., Bashkatov S.A. Processy lipoperoksidacii v pochkah posle ishemii-reperfuzii u kryss s razlichnoj ustojchivost'yu k gipoksii [Processes of lipid peroxidation in the kidney after ischemia-reperfusion in rats with different resistance to hypoxia]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic research]. 2015;(2 Pt. 8):1694–98. (In Russian)].
 5. Белявский Н.Н., Кузнецов В.И., Лихачев С.А. Использование интервальной нормобарической гипокситерапии для лечения и профилактики транзиторных церебральных ишемических атак. *Медицинские новости*. 2006;(6):54–57. [Belyavskij N.N., Kuznetsov V.I., Likhachev S.A. Ispol'zovanie interval'noj normobaricheskoj gipoksiterapii dlya lecheniya i profilaktiki tranzitornykh tserebral'nykh ishemicheskikh atak [The use of interval normobaric hypoxotherapy for the treatment and prevention of transient cerebral ischemic attacks]. *Meditsinskie novosti* [Medical news]. 2006;(6):54–57. (In Russian)].
 6. Братик А.В., Цыганова Т.Н. Возможности применения нормобарической интервальной гипоксической тренировки в восстановительной коррекции постмастэктомического синдрома. *Вестник новых медицинских технологий*. 2013;XX(1):80. [Bratik A.V., Tsyganova T.N. Vozmozhnosti primeneniya normobaricheskoj interval'noj gipoksicheskoj trenirovki v vosstanovitel'noj korrektsii postmastektomicheskogo sindroma [The possibilities of using normobaric interval hypoxic training in the restorative correction of postmastectomy syndrome]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij* [Bulletin of new medical technologies]. 2013;XX(1):80. (In Russian)].
 7. Глазачев О.С., Ткачук Е.Н., Бадиков В.И., Федянина Н.Г., Эль-Ямани М.Н. Влияние гипоксических тренировок на здоровье школьников, проживающих в экологически неблагоприятных регионах. *Физиология человека*. 1996;22(1):88–93. [Glazachev O.S., Tkachuk E.N., Badikov V.I., Fedyanina N.G., El'-Yamani M.N. Vliyanie gipoksicheskikh trenirovok na zdorov'e shkol'nikov, prozhivayushchikh v ekologicheskii neblagopriyatnykh regionakh [The effect of hypoxic training on the health of schoolchildren living in ecologically unfavorable regions]. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology]. 1996;22(1):88–93. (In Russian)].
 8. Гланц С.М. *Медико-биологическая статистика: Практика*. М.: Наука, 1999. 459 с. [Glants S.M. *Mediko-biologicheskaya statistika: Praktika* [Biomedical statistics: Practice]. Moscow: Nauka, 1999. 459 p. (In Russian)].
 9. Даренская Н.Г., Короткевич А.О. *Неспецифическая реактивность организма и принципы формирования индивидуальной резистентности*. М., 2001. 240 с. [Darenskaya N.G., Korotkevich A.O. *Nespetsificheskaya reaktivnost' organizma i printsipy formirovaniya individual'noj rezistentnosti* [Non-specific reactivity of the organism and the principles of the formation of individual resistance]. Moscow, 2001. 240 p. (In Russian)].
 10. Каркищенко В.Н., Кapanадзе Г.Д., Станкова Н.В., Ревякин А.О., Матвеев Е.Л., Костогрызова Р.Г., Люблинский С.Л., Колышев И.Ю., Берзин И.А. Экспериментальная оценка адаптогенной активности новых лекарственных средств и веществ с использованием крупных лабораторных животных. *Биомедицина*. 2012;(4):49–58. [Karkishchenko V.N., Kapanadze G.D., Stankova N.V., Revyakin A.O., Matveyenko E.L., Kostogryzova R.G., Lyublinskiy S.L., Kolyshev I.Yu., Berzin I.A. Eksperimental'naya otsenka adaptogennoj aktivnosti novykh lekarstvennykh sredstv i veshchestv s ispol'zovaniem krupnykh laboratornykh zhivotnykh [Experimental evaluation of adaptogenic activity of new drugs and substances using large laboratory animals]. *Biomedicine*. 2012;(4):49–58. (In Russian)].
 11. Колчинская А.З. *Кислород. Физическое состояние, работоспособность*. Киев: Наукова Думка, 1991. 205 с. [Kolchinskaya A.Z. *Kislород. Fizicheskoe sostoyanie, rabotosposobnost'* [Oxygen. Physical condition, performance]. Kiev: Naukova Dumka, 1991. 205 p. (In Russian)].
 12. Крылов В.Н., Лобкаева Е.П., Ошевенский Л.В., Лабынцева О.М., Захарова О.А., Федотов В.Н., Ананьева Ю.Е., Рохмистрова Е.Г. Возможность применения импульсного магнитного поля в качестве протектора повреждающего действия гипоксии. *Биомедицина*. 2018;(3):90–100. [Krylov V.N., Lobkaeva E.P., Oshevenskiy L.V., Labyntseva O.M., Zakharova O.A., Fedotov V.N., Anan'eva Yu.E., Rokhmistrova E.G. Vozmozhnost' primeneniya impul'snogo magnitnogo polya v kachestve protektora povrezhdayushchego dejstviya gipoksii [The possibility of using a pulsed magnetic field as a protector of the damaging effect of hypoxia]. *Biomedicine*. 2018;3:90–100. (In Russian)].

13. Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. *Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel*. Киев: Морион, 2000. 319 с. [Lapach S.N., Chubenko A.V., Babich P.N. *Statisticheskie metody v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh s ispol'zovaniem Excel* [Statistical methods in biomedical research using Excel]. Kiev: Morion, 2000. 319 p. (In Russian)].
14. Малкин В.Б., Гиппенрейтер Е.Б. *Острая и хроническая гипоксия*. М.: Наука, 1979. 240 с. [Malkin V.B., Gippenreiter E.B. *Ostraya i khronicheskaya gipoksiya* [Acute and chronic hypoxia]. Moscow: Nauka, 1979. 240 p. (In Russian)].
15. *Медицинские лабораторные технологии: Справ., Т.2* / Под ред. А.И. Карпищенко. СПб.: Интермедика, 1999. 512 с. [Meditsinskie laboratornye tekhnologii: Sprav., T. 2. [Medical laboratory technologies: Handbook, Vol. 2]. Ed. by Karpishchenko A.I. Saint-Petersburg: Intermedika, 1999. 512 p. (In Russian)].
16. Меерсон Ф.З. *Адаптационная медицина: механизмы и защитные эффекты адаптации*. М.: Hypoxia Medical Ltd, 1993. 331 с. [Meerson F.Z. *Adaptatsionnaya meditsina: mekhanizmy i zashchitnye efekty adaptatscii* [Adaptive medicine: mechanisms and protective effects of adaptation]. Moscow: Hypoxia Medical Ltd, 1993. 331 p. (In Russian)].
17. Меркулова Л.М. Морфофункциональные реакции нервной ткани на воздействие импульсного магнитного поля (ИМП). В кн.: *Влияние электромагнитных полей на организм человека: сб. науч. ст.* М.: Фонд «Новое тысячелетие», 1998. С. 94–119. [Merkulova L.M. Morfofunktsional'nye reaksitsii nervnoj tkani na vozdeystvie impul'snogo magnitnogo polya (IMP) [Morphofunctional reactions of the nervous tissue to the effects of a pulsed magnetic field (PMF)]. V kn.: *Vliyaniye elektromagnitnykh poley na organizm cheloveka: sb. nauch. st.* [In the book: The influence of electromagnetic fields on the human body: a collection of scientific articles]. Moscow: Fond "Novoe tysyacheletie", 1998. Pp. 94–119. (In Russian)].
18. Николаева А.Г. *Использование адаптации к гипоксии в медицине и спорте*. Витебск: ВГМУ, 2015. 150 с. [Nikolaeva A.G. *Ispol'zovanie adaptatsii k gipoksii v meditsine i sporte* [The use of adaptation to hypoxia in medicine and sports]. Vitebsk: VGMU Publ., 2015. 150 p. (In Russian)].
19. *Прерывистая нормобарическая гипоксотерапия в гинекологии, акушерстве и педиатрии: Метод. реком. № 23 Комитета здравоохранения г. Москвы*, 2002. [Preryvistaya normobaricheskaya gipoksoterapiya v genikologii, akusherstve i pediatrii: Metod. rekom. № 23 Komiteta zdravoohraneniya g. Moskvy [Intermittent normobaric hypoxotherapy in gynecology, obstetrics and pediatrics: Guidelines No. 23 of the Moscow Healthcare Committee]. Moscow, 2002. (In Russian)].
20. Разолов Н.А., Чижов А.Я., Потиевский Б.Г., Потиевская В.И. *Нормобарическая гипоксотерапия: метод. реком. для авиационных врачей*. М., 2002. 19 с. [Razolov N.A., Chizhov A.Ya., Potievskij B.G., Potievskaya V.I. *Normobaricheskaya gipoksoterapiya: metod. rekom. dlya aviatsionnykh vrachej* [Normobaric hypoxotherapy: guidelines for aviation doctors]. Moscow, 2002. 19 p. (In Russian)].
21. Семенов Х.Х., Каркищенко Н.Н., Каркищенко В.Н., Капанадзе Г.Д., Степанова О.И., Казакова Л.Х., Ревякин А.О., Касинская Н.В., Матвеев Е.Л., Денгына С.Е., Фокин Ю.В. Влияние препаратов пептидного происхождения и их комбинаций на устойчивость крыс к острой гипобарической гипоксии. *Биомедицина*. 2012;(4):45–48. [Semenov Kh.Kh., Karkishchenko V.N., Kapanadze G.D., Stepanova O.I., Kazakova L.Kh., Revyakin A.O., Kasinskaya N.V., Matveyenko E.L., Den'gina S.E., Fokin Yu.V. Vliyaniye preparatov peptidnogo proiskhozhdeniya i ikh kombinatsij na ustojchivost' krysk k ostroj gipobaricheskoy gipoksii [The influence of drugs of peptide origin and their combinations on the resistance of rats to acute hypobaric hypoxia]. *Biomedicine*. 2012;4:45–48. (In Russian)].
22. Сидякин В.Г., Сташков А.М., Янова Н.П. Адаптационные реакции организма, индуцированные действием слабых магнитных полей крайне низкой частоты (КНЧ). *Ученые записки Симферопольского университета*. 1996;(2):158–163. [Sidyakin V.G., Stashkov A.M., Yanova N.P. Adaptatsionnye reaksitsii organizma indutsirovannye dejstviem slabyykh magnitnykh poley krajne nizkoj chastoty (KNCh) [Adaptive reactions of the body, induced by the action of weak magnetic fields of extremely low frequency (ELF)]. *Uchenye zapiski Simferopol'skogo universiteta* [Scientific notes of the Simferopol University]. 1996;(2):158–163. (In Russian)].
23. Солодков А.С., Гананольский В.П., Ятманов А.Н., Шабанов П.Д., Лопатина В.Ф. Фармакологические препараты, способствующие ускорению адаптации спортсменов в условиях горной местности. *Ученые записки*. 2014;(11):142–148. [Solodkov A.S., Ganapol'skij V.P., Yatmanov A.N., Shabanov P.D., Lopatina V.F. Farmakologicheskie preparaty, sposobstvuyushchie uskoreniyu adaptatsii sportsmenov v usloviyakh gornoj mestnosti [Pharmacological agents that accelerate the adaptation of athletes in the highlands]. *Uchenye zapiski* [Scholarly notes]. 2014;(11):142–148. (In Russian)].
24. Ушаков И.Б. *Комбинированные воздействия в экологии человека и экстремальной медицины*. М.: ИПЦ «Издательство», 2003. 442 с. [Ushakov I.B. *Kombinirovannyye vozdeystviya v ekologii cheloveka i ekstremal'noj meditsiny* [Combined effects in human ecology and extreme medicine]. Moscow: IPTs "Izdattsentr", 2003. 442 p. (In Russian)].
25. Шустов Е.Б., Каркищенко Н.Н., Каркищенко В.Н., Семенов Х.Х. Анализ параметров индивидуальной устойчивости лабораторных животных к гипоксии в интересах биологического моделирования нейропротекторного и антигипоксического действия лекарственных средств. *Биомедицина*.

- 2013;(4):149–157. [Shustov E.B., Karkischenko N.N., Karkischenko V.N., Semenov Kh.Kh. Analiz parametrov individual'noj ustojchivosti laboratornykh zhivotnykh k гипоксии v interesakh biologicheskogo modelirovaniya nejroprotektornogo i antigипоксического dejstviya lekarstvennykh sredstv [Analysis of the parameters of individual resistance of laboratory animals to hypoxia in the interests of biological modeling of the neuroprotective and antihypoxic effects of drugs]. *Biomedicine*. 2013;(4):149–157. (In Russian)].
26. Эйди У.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям. *Физиология человека*. 1975;1:59–68. [Ejdi U.R. Kooperativnye mekhanizmy vospriimchivosti mozgovoj tkani k vneshnim i vnutrennim elektricheskim polyam [Cooperative mechanisms of susceptibility of brain tissue to external and internal electric fields]. *Fiziologiya cheloveka [Human physiology]*. 1975;1:59–68. (In Russian)].
27. Яремчук Г.Н., Ревенко С.Н. Метод реабилитации лиц, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС. В кн.: *Традиционные и нетрадиционные методы оздоровления детей: Тез. докл. 6 Межд. конф.* Смоленск, 1997. С. 251. [Yaremchuk G.N., Revenko S.N. Metod reabilitatsii lits, postradavshikh v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoj AES [Method of rehabilitation of persons affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. *V kn.: Traditsionnye i netraditsionnye metody ozdorovleniya detej: Tез. dokl. 6 Mezhd. konf.* [In the book: Traditional and non-traditional methods of children's health: Tез. report 6 Int. conf.]. Smolensk, 1997. P. 251. (In Russian)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лабынцева Ольга Михайловна, к.б.н., ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»;
e-mail: olga@bfrc.vniief.ru

Olga M. Labyntseva, Cand. Sci. (Biol.), Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics;
e-mail: olga@bfrc.vniief.ru

Захарова Ольга Анатольевна*, к.б.н., ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»;
e-mail: olga@bfrc.vniief.ru

Olga A. Zakharova*, Cand. Sci. (Biol.), Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics;
e-mail: olga@bfrc.vniief.ru

Ананьева Юлия Евгеньевна, ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»;
e-mail: anyue@mail.ru

Juliya E. Ananieva, Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics;
e-mail: anyue@mail.ru

Рохмистрова Елена Геннадьевна, ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»;
e-mail: rohmis@mail.ru

Elena G. Rokhmistrova, Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics;
e-mail: rohmis@mail.ru

Лобкаева Евгения Петровна, д.б.н., проф., ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»;
e-mail: olga@bfrc.vniief.ru

Yevgeniya P. Lobkayeva, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics;
e-mail: olga@bfrc.vniief.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author