

Возможность применения импульсного магнитного поля в качестве протектора повреждающего действия гипоксии

В.Н. Крылов¹, Е.П. Лобкаева², Л.В. Ошевенский¹, О.М. Лабынцева²,
О.А. Захарова², В.Д. Федотов³, Ю.Е. Ананьева², Е.Г. Рохмистрова²

¹ – ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Нижний Новгород

² – ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», Саров

³ – ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород

Контактная информация: к.б.н. Захарова Ольга Анатольевна, anuyie@mail.ru

Исследовано прекодиционирующее действие разных режимов импульсного магнитного поля на гематологические и биохимические показатели крови крыс, подвергнутых воздействию гипобарической гипоксии. Установлено, что воздействие импульсного магнитного поля приводит к развитию адаптивных реакций, однако скорость их включения может быть различной в зависимости от выбранного режима. Показана возможность применения низкочастотного импульсного магнитного поля в качестве протектора стресс-индуцированного состояния, вызванного гипоксическим воздействием.

Ключевые слова: импульсное магнитное поле, гипоксия, резистентность, параметры крови.

Введение

Распространение хронических неинфекционных заболеваний (ишемическая болезнь сердца, инфаркт миокарда, инсульт, язва желудка, хронические гастриты, невротические состояния, психические расстройства) в основном является проявлением различных стрессовых ситуаций, с которыми люди все чаще встречаются в современном мире. Это определяет актуальность поиска средств и методов повышения резистентности организма к стрессовым воздействиям [9]. В качестве протекторов негативных последствий стресса все чаще применяют воздействие низкочастотных магнитных полей [1, 2, 7]. Однако следует учитывать, что в

зависимости от параметров и режимов воздействия магнитные поля могут вызывать разнонаправленные изменения в организме [3, 12, 14].

В трудах Е.П. Лобкаевой [14] выдвинуто утверждение о том, что организм человека можно представить в виде электромагнитной колебательной системы, подчиненной ритмической активности сердца. Поэтому параметры и режимы воздействия на организм низкоинтенсивным импульсным магнитным полем (ИМП) для уменьшения негативных последствий альтерации должны лежать в пределах вариабельности ритма сердца. Исходя из теории согласованности параметров внешнего воздействия и естественных физиологических процессов ор-

ганизма, было сделано предположение, что достижение состояния нормы функциональных систем организма обеспечивается воздействием внешнего фактора, характеристики которого согласованы со спектральной функцией $U(t)=f^1$. Рассогласование этих характеристик приводит к негативному эффекту.

В ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» был получен патент РФ № 2432972⁽¹³⁾, в котором показано, что для сигнала магнитогенератора типа $U(t)=U_0 \sin \omega t \exp(-\alpha t)$, регулирование магнитной индукции в диапазонах режима I – от 1,1 до 1,76 мТл – приводит к «комфортному» состоянию организма (согласован с вариабельностью ритма сердца), а в диапазонах режима II – от 1,5 до 3,2 мТл – к «дискомфортному» состоянию организма (рассогласован с вариабельностью ритма сердца). Воздействие ИМП, огибающая спектра которого имеет вид $n < 0,8$ или $n > 1,4$, воспринимается здоровым организмом как раздражающее и приводит его к дискомфортному состоянию (стресс-реакции) [19]. В соответствии с патентом были разработаны методики и режимы воздействия низкочастотного ИМП на организм, на основе которых был создан магнитогенератор «Колибри» (УМТИ-3Ф) и в настоящее время активно применяется в терапии [6, 7, 11]. В дальнейшем в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» на основе оборудования УМТИ-3Ф («Колибри») был разработан и создан магнитогенератор импульсного магнитного поля нового поколения «Бутон» (свидетельство на товарный знак № 386501 от 03.12.2007), который позволяет автоматически изменять векторную конфигурацию ИМП и обеспечивать большую равномерность распределения интенсивности магнит-

ного поля в рабочей зоне индуктора. В настоящее время ведется его апробация и разработка новых более эффективных режимов воздействия на организм.

Целью нашей работы явилось исследование механизмов действия низкочастотного импульсного магнитного поля, генерируемого установкой «Бутон», в качестве протектора стрессиндуцированного состояния, вызванного гипоксическим воздействием.

Материалы и методы

В качестве источника импульсного ИМП использовали генератор ИМП «Бутон» со значением модуля магнитной индукции в центре рабочей зоны индуктора до $3,5 \pm 0,2$ мТл, формой сигнала вида затухающей синусоиды $U(t)=U_0 \sin \omega t \exp(-\alpha t)$, при $U_0=150-300$ В, частотой ~ 100 Гц, частотой следования импульсов $1,0 \pm 0,1$ Гц. Тестирование параметров магнитного поля проводили однокомпонентным тесламетром ТП2-2У.

Исследование проводилось на белых половозрелых самцах крыс Wistar массой 200-250 г., которые были приобретены в филиале «Андреевка» ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА России» (Московская область). Животные содержались в виварии, в клетках по 4 особи, при свободном доступе к пище и воде и естественном световом режиме.

Животные были разделены на 3 группы (табл. 1): 1-я группа животных подвергалась мнимому воздействию ИМП, 2-я группа – воздействию ИМП в режиме I (1,5-3,2-1,5 мТл), 3-я группа – воздействию ИМП в режиме II (3,2-1,5-3,2 мТл).

Рабочие характеристики режима обработки магнитным полем

Группа (N=8)	Схема (режим) воздействия	Максимальное значение модуля магнитной индукции в центре контейнера ($ B _{\max}$), мТл
1	Мнимое воздействие	-
2	ИМП I	1,5
		3,2
		1,5
3	ИМП II	3,2
		1,5
		3,2

Животных обрабатывали ИМП в утренний период (4⁰⁰-5⁰⁰) при помощи магнитогенератора импульсного магнитного поля «Бутон» в течение 12-ти дней. Для обработки магнитным полем животных помещали в контейнер с прозрачными стенками без ограничения движения. Контейнер размещали в рабочей зоне используемой установки. Обработку магнитным полем осуществляли тотально в течение 30 мин, со сменной максимального значения модуля магнитной индукции каждые 10 мин.

Через 15 мин после окончания последнего сеанса ИМП лабораторных животных всех исследуемых групп подвергали воздействию гипоксии. Моделирование гипобарической гипоксии осуществляли в вакуумной проточной барокамере. Животных помещали в условия, соответствующие «подъёму» на высоту 10000 м на 1 мин со скоростью 1 км/мин с последующим 5-мин спуском [17, 23].

Забор крови осуществляли спустя 6 ч после гипоксического воздействия путем декапитации.

Для оценки гематологических показателей красной и белой крови ис-

пользовали стандартные методики: определение количества эритроцитов, гематокрита, гемоглобина, тромбоцитов, а также рассчитывали эритроцитарные индексы: среднее распределение гемоглобина в эритроците (MCH), средняя концентрация гемоглобина в эритроците (MCHC), средний объем эритроцита (MCV) [15].

Оценку биохимических показателей крови – определение уровня мочевины, общего белка, активности γ -глутаминтранспептидазы (γ -ГГТ) – проводили с использованием биохимических реагентов «ДИАКОН ДС» ЗАО «Вектор-Бест-Урал» (Россия), на полуавтоматическом биохимическом анализаторе BTS-350.

Проверка на нормальность распределения проведена с использованием W-теста Шапиро-Уилка [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). Отличия считались достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Данные, полученные в ходе экспериментального исследования, представлены в табл. 2 и 3. При анализе полученных результатов выявили, что у животных группы 1, подвергавшихся гипобари-

ческой гипоксии, уровень мочевины и общего белка в сыворотке крови не отличался от биологической нормы [19], в то время как уровень фермента γ -ГТТ превышал показатели нормальных значений примерно в 2 раза (рис. 1).

Таблица 2
Гематологические показатели крови крыс после воздействия ИМП

Гематологические показатели крови	Группа 1 (гипоксия + минимальное воздействие)	Группа 2 (гипоксия + ИМП I)	Группа 3 (гипоксия + ИМП II)
Гемоглобин, г/л	118,50±11,55	147,75±3,97*	139,0±8,09
Эритроциты, 10 ⁶ /л	5,89±0,56	7,58±0,18*	7,00±0,22*
МСН, пг	20,03±0,38	19,48±0,44	19,70±0,52
MCV, фл	52,80±1,01	52,75±0,88	50,32±1,13
МСНС, г/дл	38,08±0,21	36,60±0,46*	39,17±0,16 ^{vv}
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	469,25±76,25	589,75±64,77	703,75±32,12*
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	8,33±0,61	9,55±1,02	12,42±1,47*
Сегментоядерные нейтрофилы	13,75±5,17	2,25±0,25***	22,5±1,19 ^{vvv}
Лимфоциты	77,25±7,82	94,75±0,48*	65,75±0,85 ^{vvv}

Примечания: * – достоверное отличие от группы 1, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$;

*** – достоверное отличие от группы 1, критерий Стьюдента, $p \leq 0,001$;

^v – достоверное отличие от группы 2, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$;

^{vvv} – достоверное отличие от группы 2, критерий Стьюдента, $p \leq 0,001$.

Таблица 3
Биохимические показатели крови крыс после воздействия ИМП

Биохимические показатели крови	Группа 1 (гипоксия + минимальное воздействие)	Группа 2 (гипоксия + ИМП I)	Группа 3 (гипоксия + ИМП II)
Мочевина, ммоль/л	2,55±0,02	3,58±0,04*	4,70±0,60 ^{vv}
Белок общий, г/л	73,27±1,78	79,75±3,06	74,5±5,72
γ -ГТТ, ед/л	11,77±0,08	6,50±1,19*	10±1,47

Примечания: * – достоверное отличие от группы 1, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$;

^v – достоверное отличие от группы 2, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$.

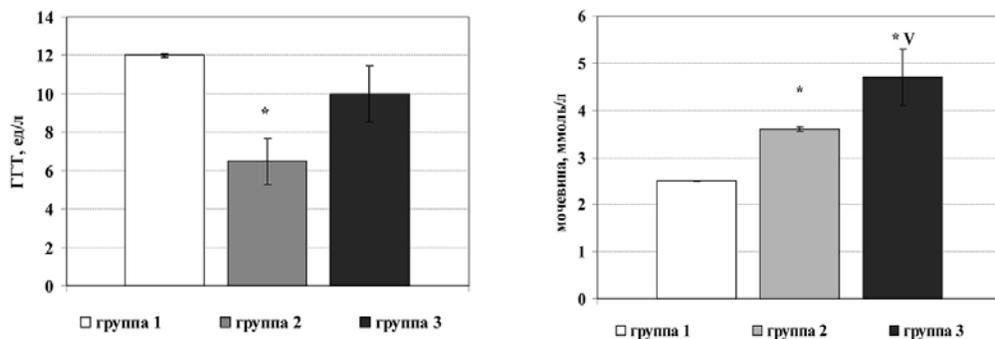


Рис. 1. Активность фермента γ -ГТТ и уровень мочевины при разных режимах воздействия. *Примечания:* * – достоверное отличие от группы 1, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$; [∇] – достоверное отличие от группы 2, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$.

Рост активности фермента γ -ГТТ в сыворотке крови экспериментальных животных после гипоксического воздействия может быть связан с его высвобождением из мембран клеток печени, поскольку известно, что именно этот фермент является наиболее чувствительным к повреждающим воздействиям различных факторов наряду с другими трансферазами [5, 24]. В связи с этим можно предположить, что воздействие гипоксии способствовало нарушению мембран клеток и их проницаемости с последующим выходом в плазму фермента [21, 22].

После воздействия ИМП в режиме I в крови крыс отмечалось достоверное увеличение концентрации мочевины

(на 41%, $p \leq 0,01$) и снижение уровня фермента γ -ГТТ (на 60%, $p \leq 0,01$) по сравнению с животными, которые подвергались только гипоксии (рис. 1). Изменение ферментативной активности γ -ГТТ указывает на то, что воздействие ИМП в исследуемом режиме способствовало восстановлению мембранных структур клетки, т.е. наблюдался гипоксопротекторный эффект ИМП.

О более высокой устойчивости организма к гипоксии у животных данной группы свидетельствует и рост числа эритроцитов в периферической крови (на 29%, $p \leq 0,01$), а также повышение уровня гемоглобина (на 25%, $p \leq 0,01$) (табл. 2, рис. 2). Поскольку средняя концентрация гемоглобина в эритроци-

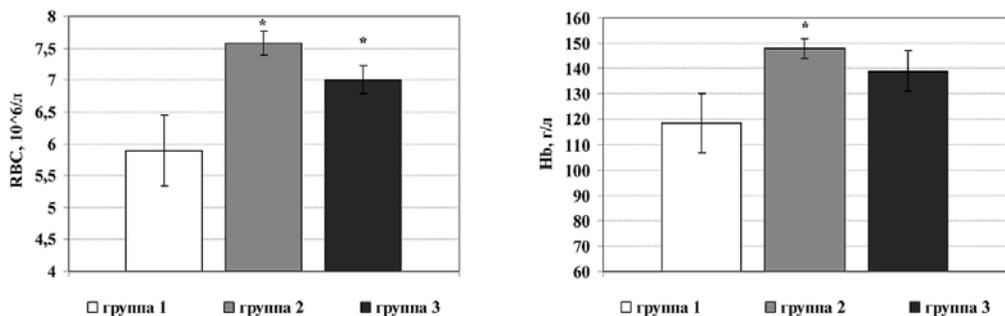


Рис. 2. Содержание эритроцитов и уровень гемоглобина при разных режимах воздействия. *Примечание:* * – достоверное отличие от группы 1, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$.

те снижалась, можно сказать, что рост уровня гемоглобина произошел из-за увеличения количества эритроцитов.

Наряду с этим наблюдали развитие реакции переактивации, характеризующейся увеличением количества лимфоцитов в крови (выше верхней границы нормы – более 90%), биологический смысл которой направлен на сохранение активации без сброса в «стресс» [4].

После воздействия ИМП в режиме II отмечалось достоверное увеличение концентрации мочевины в сыворотке крови крыс на 31% ($p \leq 0,01$) по сравнению с группой животных, подвергнутых воздействию ИМП в режиме I, и на 85% ($p \leq 0,01$) – относительно группы животных, подвергавшихся только гипоксическому воздействию. Это могло быть связано с увеличением ее синтеза в печени. С другой стороны, подобные результаты могут объясняться и сгущением плазмы крови. Активность же фермента γ -ГТТ в крови достоверно не отличалась от его значений после гипоксического воздействия.

Отмечались негативные изменения в виде статистически значимых лейкоцитоза (на 50%, $p \leq 0,01$) и тромбоцитоза (на 50%, $p \leq 0,01$) (рис. 3), что, в свою очередь, и обуславливало повышение

уровня мочевины в сыворотке крови у этой группы животных. В связи с этим можно предположить, что ИМП в данном режиме не способствовало развитию протекторного эффекта. Однако отмечалось снижение процентного количества лимфоцитов в лейкоцитарной формуле на 31%, $p \leq 0,001$ (табл. 2), что свидетельствует об активации защитных систем организма.

Обсуждение результатов

Установлено, что магнитное поле, где присутствует колебание вектора магнитной индукции, обладает высоким уровнем биотропности, действует на биологические ткани, в частности, кровь, вызывая магнитогидродинамическую активацию биосреды. При этом согласно концепции афферентного синтеза, как механизма, составляющего физиологическую структуру функциональной системы (по Анохину П.К.), поля модулируют устойчивость системы организма к окружающей среде. На этом основании предварительное воздействие ИМП способствует скорейшему включению реакций, направленных на сохранение гомеостаза. В зависимости от режимов воздействия скорость включения и направленность защитных реак-

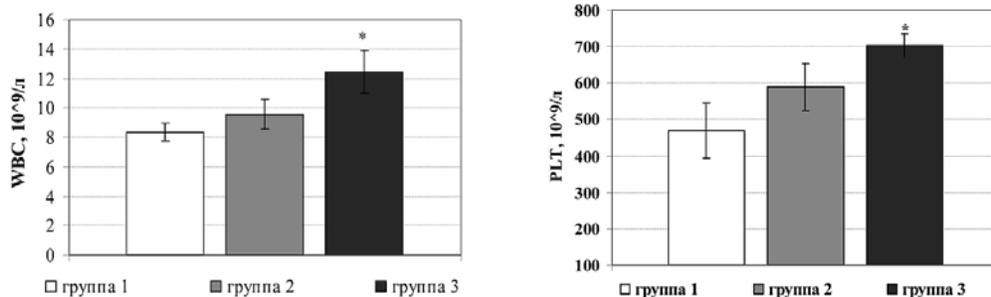


Рис. 3. Содержание лейкоцитов и тромбоцитов при разных режимах воздействия.

Примечание: * – достоверное отличие от группы 1, критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$.

ций в исследуемом промежутке времени была различна.

В представленных результатах показано, что прекондиционирующее действие ИМП в режиме I способствовало развитию важной адаптивной реакции к гипоксии – усилению эритропоэза. Наблюдалось повышение кислородной емкости крови за счет выхода эритроцитов из кровяных депо (рост количества эритроцитов и повышение уровня гемоглобина при сниженной средней концентрации гемоглобина в эритроците (табл. 2)). Следует подчеркнуть, что полученные результаты согласуются с научными данными [8, 16, 20], где показано усиление эритропоэза в условиях воздействия электрического магнитного поля низкой интенсивности. Приспособительной реакцией к гипоксии является возбуждение гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (стресс-синдром). Выделяющиеся при этом глюкокортикоиды стабилизируют мембрану клетки, снижая, тем самым, действие гипоксического фактора и повышая устойчивость тканей к недостатку кислорода [10, 24]. Поскольку клеточная мембрана является первичной мишенью действия магнитного поля [2, 8], а фермент γ -ГГТ, в свою очередь, является ее компонентом, можно предположить, что снижение активности γ -ГГТ на 54% (табл. 3) свидетельствует о сохранении ее структурно- функциональной целостности при воздействии ИМП в режиме I. Вместе с тем нарастание стресс-лимитирующих гормонов могло отражать переактивацию адаптационных процессов (процентное содержание лимфоцитов в лейкоцитарной формуле более 90%).

При прекондиционирующем воздействии ИМП в режиме II наблюдали ана-

логичную картину – включение приспособительной реакции к гипобарической гипоксии путем усиления эритропоэза (табл. 2). Однако состояние белой крови при данном воздействии было иным. Увеличение количества тромбоцитов (на 50%, $p \leq 0,05$), вероятно, связано с выходом адреналина, оказывающего стимулирующее действие на свертывающую систему крови, вызывая сгущение крови (рост концентрации мочевины на 84%, $p \leq 0,05$). Наше предположение об активации стресс-реализующей системы подтверждает и регистрируемый лейкоцитоз. Также следует отметить, что активность фермента γ -ГГТ находилась на том же уровне, что и после воздействия гипоксии. Вместе с тем наблюдали снижение уровня реактивности организма при воздействии ИМП в режиме II (снижение процентного содержания лимфоцитов на 31%, $p \leq 0,05$) относительно группы ИМП в режиме I.

Выводы

Скорость включения и направленность защитных реакций к гипоксии в исследуемом промежутке времени зависела от выбора режимов ИМП.

Низкочастотное ИМП в режиме I способствовало росту резистентности к гипоксии с одновременным повышением уровня реактивности организма.

ИМП в режиме II вызвало мобилизацию защитных сил организма, но не привело к развитию устойчивости организма к гипоксии.

Воздействие ИМП способствовало развитию адаптивных реакций, однако скорость их включения в исследуемом промежутке времени (6 ч) была различной в зависимости от выбранного режима.

Полученные результаты подтверждают закономерность, описанную в патенте РФ № 2432972⁽¹³⁾, где указано, что восстановление функционального состояния организма низкочастотным импульсным магнитным полем происходит в режиме 1,5-3,5-1,5 мТл («комфорт-дискомфорт-комфорт»).

Таким образом, показана возможность применения низкочастотного импульсного магнитного поля в качестве протектора стресс-индуцированного состояния, вызванного гипоксическим воздействием.

Список литературы

1. *Абрамович С.Г., Куликов А.Г., Долбилкин А.Ю.* Общая магнитотерапия при артериальной гипертензии // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2014. – Т. 13. – С. 50-55.
2. *Большаков М.А.* Физиологические механизмы действия радиочастотных электромагнитных излучений на биообъекты разных уровней организации: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Томск. – 2002. – 319 с.
3. *Бугоркова О.В., Никанорова Е.А., Иванов К.Ю., Хаймович Т.И., Лобкаева Е.П., Девяткова Н.С.* Влияние низкочастотного магнитного поля на модификацию процессов клеточной пролиферации // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, серия «Биология». – 2006. – Вып. 1(11). – С. 188-192.
4. *Гаркави Л.Х.* Активационная терапия. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета. – 2006. – 256 с.
5. *Гольдберг Е.Д., Гольдберг А.М., Дыгай А.М., Зюзьков Г.Н.* Гипоксия и система крови. – Томск: Изд-во Томского университета. – 2006. – 142 с.
6. *Городецкая О.С.* Общая магнитотерапия в комплексном лечении хронического эндометрита: автореф. дисс. ... канд. мед. наук. – Иваново. – 2013. – 118 с.
7. *Жукова Г.В.* Использование принципов активационной терапии для повышения противоопухолевой эффективности электромагнитных воздействий в эксперименте: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Ростов-на-Дону. – 2006. – 364 с.
8. *Замай Т.Н., Маркова Е.В., Титова Н.М.* Особенности функционирования клеточной мембраны в условиях воздействия электромагнитного поля // Вестник КрасГУ. – 2004. – № 7. – С. 154-162.
9. *Каркищенко Н.Н., Каркищенко В.Н., Семенов Х.Х., Капанадзе Г.Д. и др.* Эффект пептидов животного происхождения, оцениваемый по чувствительности к гипоксии, некоторым этологическим характеристикам и показателям крови крыс // Биомедицина. – 2013. – № 1. – С. 6-15.
10. *Каркищенко Н.Н., Каркищенко В.Н., Шустов Е.Б., Капанадзе Г.Д. и др.* Биомедицинское (доклиническое) изучение антигипоксической активности лекарственных средств // Методич. реком. ФМБА России МР.21.44-2017. – М. – 2017.
11. *Куликов А.Г., Воронина Д.Д.* Возможности общей магнитотерапии в лечении и реабилитации (обзор) // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2016. – Т. 93. – № 2. – С. 48-52.
12. *Куликов А.Г., Кузовлева Е.В., Еровиченков А.А., Михайленко О.С.* Оценка эффективности общей магнитотерапии в коррекции микроциркуляторных нарушений при розе // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2013. – № 6. – С. 26-30.
13. *Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н.* Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel. – Киев: Морион. – 2000. – 319 с.
14. *Лобкаева Е.П.* Теоретическое обоснование подбора параметров импульсного магнитного поля для достижения стойкого терапевтического эффекта // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2006. – № 1-2. – С. 12-20.
15. *Никитин В.Н.* Гематологический атлас сельскохозяйственных и лабораторных животных. – М.: Гос. изд-во сель.-хоз. литературы. – 1956. – 262 с.
16. *Перельмутер В.М., Ча В.А., Чуприкова Е.М.* Медико-биологические аспекты взаимодействия электромагнитных волн с организмом: уч. пособ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2009. – 128 с.
17. *Семенов Х.Х., Каркищенко В.Н., Матвеевко Е.Л.* Новые оппозитные линии крыс как биомодель индивидуальной чувствительно-

- сти к острой гипобарической гипоксии // Биомедицина. – 2011. – № 2. – С. 46-49.
18. Способ коррекции функционального состояния организма / Лобкаева Е.П., Девяткова Н.С., Синельникова И.А., Шевцов И.Д., Ошевенский Л.В., Крылов В.Н., Федотов В.Д., Маслов А.Г. – Патент РФ № 2432972(13) С1 МПК А 61N 2/00, бюлл. № 31, 2011.
19. *Трахтенберг И.Н. и др.* Проблемы нормы в токсикологии (современные представления и методические подходы, основные параметры и константы). – М.: Медицина. – 1991. – 208 с.
20. *Трибрат Н.С., Чуян Е.Н., Раваева М.Ю.* Влияние электромагнитных излучений различного диапазона на процессы микроциркуляции // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, серия «Биология, химия». – 2009. – Т. 22(61). – № 4. – С. 182-201.
21. *Хайбуллина З.Р., Вахидова Н.Т.* Состояние периферической крови при острой гипоксии в эксперименте // Медицина: вызовы сегодняшнего дня: Мат-лы межд. науч. конф. – Челябинск: Два комсомольца. – 2012. – С. 24-29.
22. *Шустов Е.Б., Каркищенко Н.Н., Каркищенко В.Н., Капанадзе Г.Д. и др.* Гипоксия физической нагрузки: изучение у человека и лабораторных животных // Биомедицина. – 2014. – № 4. – С. 4-17.
23. *Шустов Е.Б., Каркищенко Н.Н., Каркищенко В.Н., Семёнов Х.Х.* Анализ параметров индивидуальной устойчивости лабораторных животных к гипоксии в интересах биологического моделирования нейропротекторного и антигипоксического действия лекарственных средств // Биомедицина. – 2013. – № 4. – С. 149-157.
24. <http://labtest-spb.ru/statji/ggt/>
3. *Bugorkova O.V., Nikanorova E.A., Ivanov K.Yu., Haymovich T.I., Lobkaeva E.P., Devjatkova N.S.* Vlijanie nizkochastotnogo magnitnogo polja na modifikatsiju processov kletochnoi proliferacii [The influence of low frequency magnetic field on the modification of the processes of cell proliferation]. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo, seriya «Biologiya» [Bulletin of the Nizhny Novgorod University. N.I. Lobachevsky, a series of "Biology"]. 2006. Issue. 1(11). Pp. 188-192. (In Russian).
4. *Garkavi L.H.* Aktivatsionnaja terapija [Activation therapy]. Rostov-on-Don: Izd-vo Rostovskogo universiteta. 2006. 256 p. (In Russian).
5. *Gol'dberg E.D., Gol'dberg A.M., Dygaj A.M., Zyuz'kov G.N.* Gipoxija i sistema krovi [Hypoxia and blood system]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo universiteta. 2006. 142 p. (In Russian).
6. *Gorodeckaja O.S.* Obschaja magnitoterapija v kompleksnom lechenii hronicheskogo endometrita [General magnetotherapy in the complex treatment of chronic endometritis]: avtoref. diss. ... kand. med. nauk [the author's abstract of the dissertation ... of the Candidate of Medical Sciences]. Ivanovo. 2013. 118 p. (In Russian).
7. *Zhukova G.V.* Ispolzovanie printsipov aktivatsionnoj terapii dlja povyishenija protivopuholevoj effektivnosti elektromagnitnyh vozdeystvii v eksperimente [Principles of activation therapy to enhance the antitumor efficiency of electromagnetic effects in the experiment]: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk [the author's abstract of the dissertation ... of the Doctor of Biological Sciences]. Rostov-on-Don. 2006. 364 p. (In Russian).
8. *Zamay T.N., Markova E.V., Titova N.M.* Osobnosti funkcionirovanija kletochnoj membrany v uslovijah vozdeystvija elektromagnitnogo polja [Features of functioning of the cell membrane under the impact of the electromagnetic field]. Vestnik KrasGU [Bulletin of Krasnoyarsk State University]. 2004. No. 7. Pp. 154-162. (In Russian).
9. *Karkischenko N.N., Karkischenko V.N., Semenov Kh.Kh., Kapanadze G.D., et al.* Effekt peptidov zhivotnogo proishozhdenija,

- ocenivaemyj po chuvstvitelnosti k gipoksii, nekotorym etologicheskim harakteristikam i pokazateljam krovi krysa [Effect peptides of animal origin, assessed by sensitivity to hypoxia, some of the ethological characteristics and indices of rat blood]. *Biomedicine*. 2013. No. 1. Pp. 6-15. (In Russian).
10. **Karkischenko N.N., Karkischenko V.N., Shustov E.B., Kapanadze G.D., et al.** Biomeditsinskoe (doklinicheskoe) izuchenie antigipoksicheskoy aktivnosti lekarstvennykh sredstv [Biomedical (preclinical) study of antihypoxic activity of drugs] Methodical recommendations of FMBA of Russia MR.21.44-2017. Moscow. 2017.
11. **Kulikov A.G., Voronina D.D.** Vozmozhnosti obshej magnitoterapii v lechenii i reabilitatsii (obzor) [Ability of general magnetic therapy in the treatment and rehabilitation (review)]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kultury* [Questions of balneology, physiotherapy and therapeutic physical culture]. 2016. V. 93. No. 2. Pp. 48-52. (In Russian).
12. **Kulikov A.G., Kuzovleva E.V., Eroichenkov A.A., Mihajlenko O.S.** Otsenka effektivnosti obshej magnitoterapii v korrektsii mikrotsirkulyatornykh narushenij pri roje [Evaluation of the effectiveness of general magnetic therapy for the correction of microcirculatory disorders at the erysipelas]. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2013. No. 6. Pp. 26-30. (In Russian).
13. **Lapach S.N., Chubenko A.V., Babich P.N.** Statisticheskie metody v mediko-biologicheskikh issledovaniyah s ispolzovaniem Excel [Statistical methods in biomedical studies using Excel]. Kiev: Morion. 2000. 319 p. (In Russian).
14. **Lobkaeva E.P.** Teoreticheskoe obosnovanie podbora parametrov impulsnogo magnitnogo polya dlya dostizheniya stojkogo terapevtsicheskogo efekta [Theoretical rationale for the selection of parameters of pulsed magnetic fields to achieve a stable therapeutic effect]. *Biomedical technologies and radio electronics*. 2006. No. 1-2. Pp. 12-20. (In Russian).
15. **Nikitin V.N.** Gematologicheskij atlas selskohozyajstvennykh i laboratornykh zhivotnykh [Hematology atlas of farm and laboratory animals]. Moscow: Gos. izd-vo sel.-hoz. literatury. 1956. 262 p. (In Russian).
16. **Perelmuter V.M., Cha V.A., Chuprikova E.M.** Mediko-biologicheskie aspekty vsaimodeistviya elektromagnitnykh voln s organizmom: uch. posob. [Medical and biological aspects of the interaction of electromagnetic waves with human body: study guide]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2009. 128 p. (In Russian).
17. **Semenov Kh.Kh., Karkischenko V.N., Matveyenko E.L.** Novye oppozitnyye linii krysa kak biomodel individualnoj chuvstvitelnosti k ostroj gipobaricheskoj gipoksii [New opposite lines of rats as a biomodel of individual sensitivity to acute hypobaric hypoxia]. *Biomedicine*. 2011. No. 2. Pp. 46-49. (In Russian).
18. Sposob korrektsii funkcionalnogo sostojaniya organizma [Method of correction of functional state of the organism]. Lobkaeva E.P., Devyatkova N.S., Sinel'nikova I.A., Shevtsov I.D., Oshevskij L.V., Krylov V.D., Fedotov V.D., Maslov A.G. Patent of Russian Federation No. 2432972⁽¹³⁾ C1 IPC AS 2/00 61N, bull. No. 31. 2011. (In Russian).
19. **Trakhtenberg I.N., et al.** Problemy normy v toksikologii (sovremennyye predstavleniya i metodicheskie podhody, osnovnyye parametry i konstanty) [The problem of norm in toxicology (modern concepts and methodological approaches, the main parameters and constants)]. Moscow: Medicina. 1991. 208 p. (In Russian).
20. **Tribrat N.S., Chuyan E.N., Ravaeva M.Yu.** Vliyanie elektromagnitnykh izluchenij raslichnogo diapazona na processy mikrotsirkulyacii [The influence of electromagnetic radiation of various ranges on the processes of microcirculation]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta im. V.I. Vernadskogo, seriya «Biologiya, himiya»* [Scientific notes of the Taurida National University named after V.I. Vernadsky, series "Biology, Chemistry"]. 2009. V. 22(61). No. 4. Pp. 182-201. (In Russian).
21. **Hajbullina Z.R., Vahidova N.T.** Sostoyanie perifericheskoy krovi pri ostroj gipoksii v eksperimente [The condition of peripheral blood in acute hypoxia in experiment]. *Meditsina: vyzovy segodnyashnego dnya: Matly mezhd. nauch. konf.* [Medicine: challenges of today: Proceedings of the International scientific conference]. Chelyabinsk: Dva komsomoltsa. 2012. Pp. 24-29. (In Russian).
22. **Shustov E.B., Karkischenko N.N., Karkischenko V.N., Kapanadze G.D., et al.** Gipoksiya fizicheskoy nagruzki: izuchenie u

cheloveka i laboratornyh zivotnyh [Hypoxia of physical activity: study in human and laboratory animals]. Biomedicine. 2014. No. 4. Pp. 4-17. (In Russian).

23. *Shustov E.B., Karkischenko N.N., Karkischenko V.N., Semenov Kh.Kh.* Analiz parametrov individualnoj ustojchivosti laboratornyh zivotnyh k gipoksii v interesah biologicheskogo modelirovaniya

nejroprotektornogo i antigipoksicheskogo deistviya lekarstvennyh sredstv [An analysis of the parameters of individual susceptibility of laboratory animals to hypoxia in the interests of biological modeling of neuroprotective and antihypoxic action of drugs]. Biomedicine. 2013. No. 4. Pp. 149-157. (In Russian).

24. <http://labtest-spb.ru/statji/ggt/>

The possibility of applying a pulsed magnetic field as a protector of damage action of hypoxia

V.N. Krylov, E.P. Lobkaeva, L.V. Oshevenskiy, O.M. Labyntseva,
O.A. Zakharova, V.D. Fedotov, Yu.E. Ananieva, E.G. Rohmistrova

The preconditioning effect of different pulsed magnetic field regimes on hematological and biochemical parameters of blood of rats exposed to hypobaric hypoxia was studied. It was established that the impact of pulsed magnetic field leads to the development of adaptive response, however, the rate of its activation can be different depending on the selected mode. The possibility of using a low-frequency pulsed magnetic field as a protector of a stress-induced condition caused by hypoxic exposure is shown.

Key words: pulsed magnetic field, hypoxia, resistance, blood parameters.