

УДК 612.821

ВЛИЯНИЕ ГИПОМАГНИТНОЙ СРЕДЫ НА МЕТАБОЛИЗМ И ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ЗДОРОВОГО ЧЕЛОВЕКА

© 2023 г. А. А. Маркин¹, *, О. А. Журавлева¹, Т. В. Журавлева¹, Д. С. Кузичкин¹, Е. А. Маркина¹, А. В. Поляков¹, Л. В. Вострикова¹, И. В. Заболотская¹, В. И. Логинов¹

¹ФГБУН ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*E-mail: andre_markine@mail.ru

Поступила в редакцию 07.04.2023 г.

После доработки 05.06.2023 г.

Принята к публикации 23.06.2023 г.

Обследовано 8 испытуемых мужского пола в возрасте от 26 до 44 лет, находившихся в установке моделирования гипوماгнитной среды “Арфа” в течение 4 ч при нормальном уровне магнитного поля (фоновая сессия), и дважды в течение 24 ч: одна сессия при моделировании гипوماгнитной среды с коэффициентом ослабления 500, и одна – в условиях земного магнитного поля (плацебо). Венозную кровь отбирали по завершении каждой сессии. В плазме и сыворотке крови определяли значения 48 биохимических показателей, отражающих состояние органов и тканей, а также основных звеньев обмена веществ. Психологическое тестирование испытуемых проводили с помощью опросников “Оценка острого физического утомления” R. Kinsman и P. Weiser в адаптации А.Б. Леоновой и “Оценка острого умственного утомления” А.Б. Леоновой и Н.Н. Савичевой. Уровень физического состояния участников эксперимента оценивался по методике Д.Н. Давиденко. В результате впервые проведенного биохимического скрининг-обследования и психологического тестирования испытуемых, находившихся в условиях моделируемой гипوماгнитной среды космического уровня, установлено, что воздействие является стрессогенным, сопровождается активацией гликолиза, липолиза, влияет на кислотно-основной баланс организма, состояние эндотелия сосудов, приводит к изменениям в гепато-билиарной системе. При этом индекс физического утомления у испытуемых повышается, а уровень физического состояния достоверно снижается. Субъективно, выраженные изменения биохимических параметров стрессогенной направленности обследуемыми не ощущаются.

Ключевые слова: космическая медицина, гипوماгнитная среда, биохимическое скрининг-обследование, метаболизм, психофизиологические реакции.

DOI: 10.31857/S013116462370042X, **EDN:** ESFTGK

Геомагнитное поле Земли является экологическим фактором, безусловно, необходимым для существования всего живого на планете. Производственная деятельность человека создала зоны с ослабленным геомагнитным полем – метрополитен, шахты, командные пункты, экранированные помещения.

Установлено, что длительная работа в помещениях с коэффициентом ослабления геомагнитного поля Земли, варьирующим в диапазоне от 3 до 10, сопровождается изменениям циркадианных ритмов, нарушением сна, развитием неврологической симптоматики [1]. Ухудшаются психофизиологические характеристики – когнитивные функции и память человека [2], снижается работоспособность. Так, в центральной нервной системе выявлены признаки дисбаланса процессов торможения и возбуждения с преобладанием последних, дистония мозговых сосудов с наличием

регуляторной межполушарной асимметрии, удлинение времени реакции на появляющийся объект в режиме непрерывного аналогового слежения, снижение критической частоты слияния световых мельканий. Выявлены изменения норадренергической активности ствола головного мозга, эпизоды амнезии [3].

В наибольшей степени в условиях гипогеомагнитного поля страдает сердечно-сосудистая система. Вследствие нарушения механизмов регуляции вегетативной нервной системы развивается лабильность пульса и артериального давления, появляются признаки нейроциркуляторной дистонии гипертензивного типа вплоть до развития гипертонической болезни, наблюдаются функциональные изменения сердечно-сосудистой системы, нарушаются процессы реполяризации в миокарде [4].

В современных мегаполисах зоны с высоким градиентом магнитных полей, связанные с локальным их ослаблением, встречаются повсеместно, причем как в бытовых условиях, так и на производстве. Поэтому в урбанистической среде при резких колебаниях параметров геомагнитного поля человек может испытывать длительный психологический и физиологический дискомфорт [5], что может способствовать развитию дезадаптационных процессов.

В целях регламентирования условий работы и проживания при нахождении в гипомагнитной среде был разработан СанПин 2.1.8/2.2.4.2489-09 “Гипогеомагнитные поля в производственных, жилых и общественных зданиях и сооружениях”, согласно которому предельно допустимый уровень ослабления геомагнитного поля в помещениях жилых и общественных зданий устанавливается равным 1.5; при работе в гипогеомагнитных условиях более 2 ч за смену – 2, а при работе в гипогеомагнитных условиях до 2 ч за смену уровень ослабления геомагнитного поля устанавливается равным 4 [2].

Если уровни ослабления геомагнитного поля для земных условий известны и допустимые сроки пребывания в них определены, то профессиональная деятельность, не связанная с пребыванием в земных условиях, требует дополнительных исследований. Новым этапом развития пилотируемой космонавтики является осуществление межпланетных полетов, в ходе которых на организм человека будет действовать малоизученный неблагоприятный фактор – ослабленная геомагнитная среда космического уровня. Установлено, что магнитное поле Марса в различных его областях снижено по сравнению со средним земным (50 мТс) в 10–170 раз; Луны – в 170–1000 раз. Магнитное поле межпланетного пространства в 10000 раз меньше земного [1]. В таких условиях космонавты будут проводить не часы или дни, как земные работники, а месяцы и годы. В связи с этим необходимость исследования биологического действия ослабленного магнитного поля космического уровня является очевидной.

Установлено, что слабые комбинированные магнитные поля могут влиять на ядерные спины ряда элементов: водорода в протонной форме, калия, натрия, фосфора, меди, марганца, кобальта, хлора, лития, азота. Причем, если слабые комбинированные магнитные поля нарушают взаимодействия определенных элементов и их ионов с соответствующими центрами связывания конкретных белков, то магнитное поле с уровнем ослабления, соответствующим межпланетному (10000 раз, так называемый “магнитный вакуум”), не может обладать селективностью влияния на ферменты. Его мишенью, а также мишенью для слабых комбинированных магнитных полей,

настроенных на ядерные спины фосфора и азота, составляющих каркас белка, должны быть все белки без исключения [6]. В то же время известно, что на молекулярном уровне изменение физиологического состояния организма связано с изменением ферментативной активности. Это означает, что в каждый момент времени ослабленное магнитное поле опосредованно взаимодействует с различными ферментами, влияя на взаимодействие химических элементов с их центрами связывания. Данный молекулярный механизм может лежать в основе системного неблагоприятного действия гипомагнитной среды на живую материю.

В наземных модельных экспериментах с моделированием геомагнитной среды, ослабленной от 2 до 500 раз, наблюдались отрицательные биологические эффекты на самых различных уровнях организации живых систем [3]. *In vitro* выявлены нарушение проницаемости мембран клеток цельной крови для микроэлементов [7], снижение осмотической резистентности эритроцитов, увеличение интенсивности гемолиза [8], изменения реологических свойств крови [9], нарушение функций эндотелия [10], снижение подвижности сперматозоидов [11].

В экспериментах на лабораторных животных показано, что гипомагнитная среда менее 300 нТс увеличивает электропроводность икроножной мышцы крыс, а также влияет на характеристики электропроводности селезенки, цельной крови, тестикул, причем степень изменения разная у различных тканей [12].

При 28-суточном вывешивании крыс в гипомагнитной среде с интенсивностью магнитного поля около 300 нТс обнаружено, что гипомагнитные поля могут усугублять потерю минеральной плотности костной ткани и изменять биомеханические характеристики бедренной кости. При этом в гипомагнитной среде наблюдается накопление в сыворотке крови, печени, селезенке и костной ткани крыс железа в значительно большей степени, чем только при вывешивании. Это приводит к активации свободнорадикальных процессов, усугубляющих деструкцию костной ткани [13].

При изучении воздействия ослабленного геомагнитного поля на лабораторных крысах линии SHR были обнаружены резкие колебания артериального давления и частоты сердечных сокращений [14].

Воздействие магнитных полей влияет на многие нейробиологические процессы у крыс. В частности, экранирование магнитного поля Земли отрицательно влияет на формирование новых нейронов в области гиппокампа взрослого мозга, в то время как процесс нейрогенеза играет решающую роль в обучении и памяти [15]. Действительно, в условиях 14-суточного умеренного экранирова-

ния магнитного поля наблюдались биоритмологические перестройки болевой чувствительности, влияющие на скорость формирования условных рефлексов и когнитивные функции [16]. Нарушение биоритмов, по-видимому, является универсальной реакцией организма на пребывание в гипомагнитной среде, так как наблюдается у млекопитающих, птиц, членистоногих и насекомых [1].

В исследованиях с наземным моделированием ослабления геомагнитного поля были показаны нарушения циркадианных ритмов человеческого организма [17], ухудшение цветовых характеристик зрения и цветовой памяти [18], снижение когнитивных функций при выполнении операторской деятельности [19].

Содержание ионов металлов в клеточных элементах крови, а также в компонентах плазмы, обеспечивает образование вокруг кровеносных сосудов магнитного поля. Нахождение в гипомагнитной среде отрицательно сказывается на системе кровообращения, состоянии кровеносных сосудов, характеристиках переноса кислорода к различным тканям, трансмембранному транспорту питательных веществ, что может привести к развитию сердечно-сосудистых заболеваний, неврологических и психических отклонений [20]. Установлено, что даже 60-минутное пребывание в “нулевой” гипомагнитной среде сопровождалось изменениями в показателях капиллярного кровотока, артериального давления и параметрах ЭКГ [21].

Таким образом, влияние на организм гипомагнитной среды с характеристиками, соответствующими космическим величинам, характеризуется системным неблагоприятным действием на всех уровнях его организации. Количество исследований *in vitro* на животных значительно превышает число экспериментов с участием человека. Поэтому, несмотря на то, что лабораторно-диагностические методы позволяют выявить изменения метаболизма уже на преморбидном этапе [22], комплексные биохимические исследования у испытуемых в гипомагнитной среде до настоящего времени не проводились. Изучению психофизиологических реакций обследуемых в условиях гипомагнитной среды были посвящены лишь единичные работы. При нахождении в экстремальных условиях, к которым, бесспорно, можно отнести и гипомагнитную среду, наряду с физическим подвергается нагрузке и психическое здоровье. Возникновение психологических проблем, несомненно, способно оказать негативное влияние на общее состояние организма в целом и на функциональную активность его систем. Ослабление устойчивости центральной нервной системы и возникновение на этом фоне дисфункции психической и нейрогуморальной регуляции могут послужить триггером каскада вегетативных,

метаболических и иммунных расстройств, реализующихся уже на уровне преморбидных состояний и облигатно сопутствующих развитию астенической симптоматики [23, 24]. В связи с этим, психофизиологическое тестирование является необходимым дополнением к исследованию состояния организма человека на молекулярном уровне.

Целью настоящей работы явилось изучение метаболических и психофизиологических реакций человека при нахождении в гипомагнитной среде с коэффициентом ослабления, соответствующим космическому уровню.

МЕТОДИКА

В эксперименте “Арфа-2021” обследовали 8 мужчин в возрасте от 26 до 44 лет.

Каждый из участников эксперимента проходил 4-часовую тренировку в установке моделирования геомагнитных полей по принципу колец Гельмгольца, “Арфа”, затем находился в ней дважды по 24 ч в положении сидя с минимальным набором движений, при интервальном воздействии восьмичасовыми циклами и перерывами в три часа между ними. Один раз – в условиях нормального геомагнитного поля (“плацебо”) и один раз – ослабленного в 500 раз. При тренировке и в сессии “плацебо” установка была выключена, напряженность магнитного поля внутри нее соответствовала окружающему геомагнитному. Испытуемые находились в установке “Арфа” по одному. Во время каждого цикла, в том числе тренировочного, они выполняли работу в соответствии с научной программой эксперимента, включающей в себя психологические, физиологические и психофизиологические исследования. В свободное время испытуемые могли заниматься чтением и просмотром видео-контента. В помещении, где находилась установка, поддерживали температурный, световой и шумовой режим, соответствующий действующим санитарным нормам. Во время перерывов испытуемым предлагали питание на основе стандартной диеты № 15 в соответствии с Приказом Минздрава РФ от 05.08.2003 № 330. Двигательную активность в это время не ограничивали.

Обследуемые и медицинский персонал не были информированы, какая из двух сессий проходит в условиях ослабленного геомагнитного поля. Интервал между сессиями составлял от 7 до 14 дней. Венозную кровь отбирали в вечернее время по завершении тренировки и каждой сессии в течение десяти минут.

В сыворотке и плазме крови исследовали активность аспартатаминотрансферазы, аланинаминотрансферазы, γ -глутамилтрансферазы (ГГТ), холинэстеразы, глутаматдегидрогеназы, щелоч-

ной фосфатазы, α -амилазы и ее панкреатического изофермента, креатинфосфокиназы (КФК) и ее сердечного изофермента, лактатдегидрогеназы, α -гидроксibuтиратдегидрогеназы, панкреатического изофермента триацилглицериновой липазы, а также концентрацию общего белка, альбумина, глюкозы, лактата, бикарбоната, креатинина, мочевины, мочевой кислоты, цистатина С, высокочувствительного С-реактивного белка (СРБвч), холестерина, холестерина липопротеидов высокой плотности (ЛПВП), неэтерифицированных (свободных) жирных кислот, триглицеридов, аполипопротеина А1 (Апо А), аполипопротеина В (Апо В), фосфолипидов, железа, кальция, магния, неорганического фосфора, хлоридов с помощью стандартных коммерческих наборов фирмы “DiaSys” (Германия). Концентрацию общего и прямого билирубина измеряли с помощью наборов фирмы “Эко-сервис” (Россия). Активность триацилглицериновой липазы определяли, используя наборы фирмы “Randox” (Великобритания), активность общей и непротатической кислой фосфатазы – наборы реагентов фирмы “Spinreact” (Испания). Измерения производили на биохимическом автоматическом анализаторе “Targa BT 3000” (Bioteknika Instruments, Италия). Активность мышечного изофермента креатинфосфокиназы (КФК-ММ) рассчитывали как разность между активностями КФК и КФК-МВ, активность простатической кислой фосфатазы – как разность между ее общей активностью и активностью непротатического изофермента. Концентрацию непрямого билирубина рассчитывали как разность между содержанием общего и прямого. Содержание холестерина липопротеидов низкой плотности (ЛПНП), холестерина очень низкой плотности, ЛПВП-отношения и индекса атерогенности вычисляли по формулам [25], также рассчитывали отношение Апо В/Апо А1. Скорость клубочковой фильтрации вычисляли по формуле Хоука, используя концентрацию в крови цистатина С [26].

Психологическое тестирование испытуемых проводили с помощью опросников “Оценка острого физического утомления” R. Kinsman и P. Weiser в адаптации А.Б. Леоновой [27] и “Оценка острого умственного утомления” А.Б. Леоновой и Н.Н. Савичевой [28]. Уровень физического состояния участников эксперимента (УФС) оценивали по методике Д.Н. Давиденко [29] с расчетом по формуле, предложенной автором:

$$\text{УФС} = (700 - 3\text{ЧСС} - 2.5\text{АД}_{\text{ср}} - 2.7\text{В} + 0.28\text{m}) / (350 - 2.6\text{В} + 0.21\text{h}), \quad (1)$$

где ЧСС – частота сердечных сокращений (уд./мин) в состоянии покоя; АД_{ср} – среднее артериальное давление (определяется как сумма диастолического давления и 1/3 разности между

систолическим и диастолическим давлением); В – возраст (годы) на момент обследования; m – масса тела (кг), h – рост (см).

Статистическую обработку данных проводили методами вариационной статистики с применением пакета прикладных программ *Statistica for Windows, Kernel Release 5.5 A (StatSoft, Inc., США)*. Достоверность различий между средними арифметическими в группах вычисляли с помощью *t*-критерия Стьюдента, принимая выявленные различия значимыми при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования представлены в табл. 1 и 2.

В обеих сессиях, достоверно и одинаково относительно фона за счет мышечного изофермента снижалась активность КФК, что связано с ограничением подвижности испытуемых (табл. 1). Статистически значимо, на 42%, повышался уровень лактата в сессии “плацебо” и на 76% – в гипомангнитной сессии. При этом содержание бикарбоната достоверно снижалось на 6%. Наблюдающийся сдвиг кислотно-щелочного равновесия в сторону ацидоза вызвал повышение концентрации магния в крови [30] на 6 и 7%. Концентрация высокочувствительного С-реактивного белка повышалась на 56 и 134% соответственно. Содержание общего холестерина, холестерина ЛПНП, и величина индекса атерогенности по среднему значению превысили верхнюю границу референтного диапазона как в плацебо-, так и в гипомангнитной сессиях, причем значения индекса атерогенности – достоверно. Статистически значимо и одинаково, на 26%, понизилась величина ЛПВП-отношения.

Поскольку испытуемые находились в установке “Арфа” в положении сидя на протяжении 24 ч с двумя перерывами, обнаруженные сдвиги, по всей видимости, отражали реакцию организма на развитие иммобилизационного стресса. Это выразилось в снижении мышечной активности, с соответствующим энзиматическим и электролитным сдвигом, включением гликолиза с развитием метаболического ацидоза и, принимая во внимание значимое повышение СРБвч, вероятным изменением состояния эндотелия сосудов [31]. Сдвиг показателей холестеринного обмена отражал начальный этап активации атерогенных процессов.

В сессии с гипомангнитным воздействием наблюдалось достоверное увеличение относительно как фоновых уровней, так и значений плацебо-сессии, концентрации глюкозы одинаково на 6%. Уровень лактата значимо повысился, соответственно на 76 и 23%, а содержание бикарбоната

Таблица 1. Значения биохимических показателей крови в эксперименте с воздействием гипотагитной среды (ГПС) на организм человека

Биохимические показатели	Границы нормы	Сроки обследования; $M \pm m$		
		4 ч (ФОН) $n = 8$	24 ч $n = 7$	24 ч в ГПС $n = 8$
Гаммаглутамилтрансфераза (ГГТ)	11–50 МЕ/л	23.68 ± 2.94	23.66 ± 2.33	34.48 ± 4.57*, #
Холинэстераза	5100–11700 МЕ/л	8158 ± 489	7887 ± 599	9349 ± 714*, #
Билирубин общий	0–17.1 мкмоль/л	11.92 ± 1.20	10.99 ± 1.05	12.54 ± 0.82
Билирубин прямой	0–5.10 мкмоль/л	3.84 ± 0.50	4.25 ± 1.02	5.41 ± 0.70*
Глюкоза	4.2–6.4 ммоль/л	4.77 ± 0.08	4.78 ± 0.11	5.05 ± 0.11*, #
Лактаг	0.70–2.20 ммоль/л	0.919 ± 0.050	1.309 ± 0.120**	1.613 ± 0.118***, #
Бикарбонат	22–29 ммоль/л	25.55 ± 0.37	24.13 ± 0.36*	23.04 ± 0.40***, #
Креатинфосфокиназа (КФК)	0–190 МЕ/л	168.8 ± 22.5	111.7 ± 19.8*	110.5 ± 20.0*
КФКММ	0–190 МЕ/л	155.6 ± 21.8	96.0 ± 20.2*	96.5 ± 20.6*
СРБвч	0–5 мг/л	0.267 ± 0.047	0.416 ± 0.061*	0.625 ± 0.071***, #
Холестерин общий	2.8–5.2 ммоль/л	5.19 ± 0.43	6.09 ± 0.39	6.11 ± 0.27*
Холестерин ЛПНП	<4.00 ммоль/л	3.17 ± 0.39	4.04 ± 0.30	4.09 ± 0.27*
ЛПВП-отношение	>0.28	0.461 ± 0.053	0.342 ± 0.024*	0.345 ± 0.021*
Индекс атерогенности	2.00–3.00	2.73 ± 0.26	3.52 ± 0.23*	3.44 ± 0.16*
Железо	6.6–26.0 мкмоль/л	21.40 ± 1.73	18.89 ± 1.12	15.21 ± 1.57**, #
Магний	0.70–1.05 ммоль/л	0.901 ± 0.021	0.957 ± 0.019*	0.965 ± 0.011**
Фосфор неорганический	0.87–1.45 ммоль/л	1.31 ± 0.03	1.35 ± 0.02	1.39 ± 0.03*

Примечание: * – достоверность различий с фоновыми величинами, $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$. # – достоверность различий с плацебо, $p < 0.05$; ## – $p < 0.01$; ### – $p < 0.001$.

Таблица 2. Результаты психологического тестирования в эксперименте с воздействием гипوماгнитной среды (ГПС) на организм человека

Психологические показатели	Сроки обследования; $M \pm m$		
	4 ч (ФОН) $n = 8$	24 ч $n = 7$	24 ч в ГПС $n = 8$
Индекс умственного утомления	6.38 ± 1.68	10.86 ± 2.76	11.38 ± 2.73
Индекс физического утомления	5.75 ± 2.01	9.13 ± 2.13	$10.38 \pm 1.56^*$
Уровень физического состояния	0.827 ± 0.035	0.823 ± 0.033	$0.742 \pm 0.028^{*, \#}$

Примечание: * – достоверность различий с фоновыми величинами, $p < 0.05$; # – достоверность различий с плацебо, $p < 0.05$.

снизилось на 10 и 5%. При этом содержание неорганического фосфора достоверно увеличилось на 6% относительно фонового уровня, что связано с большей выраженностью метаболического ацидоза в данной сессии. Уровень холестерина повысился на 18% относительно фона, а его ЛПНП-фракции – на 29%. Их средние значения превысили верхнюю границу референтного диапазона. При этом концентрация свободных жирных кислот была выше фоновых значений и величин плацебо-сессии на 43%, выходя за верхнюю границу физиологической нормы. Концентрация СРБвч повысилась по сравнению с фоном и плацебо-сессией на 134 и 50%. Уровень сывороточного железа снизился на 29 и 20% соответственно. Активность холинэстеразы возросла на 15 и 19%, γ -глутамилтрансферазы – на 46% в обоих случаях, при этом концентрация прямого билирубина повысилась относительно фона на 41%.

Таким образом, гипوماгнитное воздействие является стрессогенным, потенцирующим эффекты иммобилизационного стресса – развитие метаболического ацидоза при активации гликолиза, усиление неблагоприятных изменений в эндотелии сосудов. Специфика реакции организма на данное воздействие заключается в интенсификации углеводного обмена и активации процессов липолиза. Дополнительным свидетельством связи развившейся стресс-реакции с гипوماгнитным воздействием является повышение активности холинэстеразы [30], снижение уровня сывороточного железа и увеличение содержания общего холестерина. Пребывание в гипوماгнитной среде также отражается на состоянии гепато-билиарной системы.

Значения биохимических показателей, достоверно не изменявшихся и не показавших каких-либо тенденций к изменению, в табл. 1 не представлены.

Большой интерес представляет субъективное восприятие испытуемыми экспериментального воздействия и его объективная оценка с помощью методов психологического тестирования.

После экспериментальных серий величины индекса умственного утомления (ИУУ) у испыту-

емых соответствовали легкой степени умственного утомления [28]. Следует отметить, что ИУУ статистически значимо не изменялся в динамике эксперимента (табл. 2). По-видимому, это было обусловлено значительной индивидуальной вариабельностью данного показателя.

После 24-часовой экспозиции испытуемых в гипوماгнитной среде индекс физического утомления (ИФУ) у них был повышен на 80% относительно фоновых данных. Абсолютные величины ИФУ свидетельствовали о компенсированном утомлении. С одной стороны, появление признаков утомления может являться защитным фактором от чрезмерного истощения организма, а с другой – оно может служить стимулятором восстановительных процессов и повышения адаптационных возможностей организма [27].

У всех испытуемых УФС и в фоновой, и в экспериментальных сериях исследований соответствовал его высокой степени. После 24-часового пребывания в гипوماгнитной среде УФС у участников эксперимента был достоверно снижен на 10% как по отношению к фону, так и по отношению к серии “плацебо”. По Д.Н. Давиденко, УФС – расчетная величина, определяемая совокупностью морфологических (возраст, вес, рост) и функциональных показателей (АД, ЧСС), отражающих физиологическое состояние основных систем организма [29]. Таким образом, 24-часовое пребывание испытуемых в гипوماгнитной среде негативно влияет на физическое состояние организма, снижая уровень его физиологического и психологического благополучия. Следует отметить, что субъективно обследуемые не ощущали снижения УФС, сопровождавшегося выраженными изменениями биохимических показателей стрессорной направленности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате впервые проведенного биохимического скрининг-обследования и психологического тестирования испытуемых, находившихся в условиях моделируемой гипوماгнитной среды космического уровня, установлено, что воздей-

стве является стрессогенным, сопровождается активацией гликолиза, липолиза, влияет на кислотно-основной баланс организма, состояние эндотелия сосудов, приводит к изменениям в гепато-билиарной системе. При этом ИФУ у обследуемых повышается, а УФС достоверно снижается. Субъективно выраженные изменения биохимических параметров стрессогенной направленности не ощущаются.

Для действия гипомангнитной среды на организм человека систематизированной информации “Коэффициент ослабления — экспозиция — биологический эффект” не существует, варианты и последствия длительного действия этого неблагоприятного фактора неизвестны. Принимая во внимание, что первые межпланетные полеты запланированы уже на ближайшее десятилетие, становится очевидной необходимость проведения всесторонних и скоординированных исследований влияния гипомангнитной среды на организм человека.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены комиссией по биомедицинской этике Института медико-биологических проблем РАН (Москва).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирование работы. Работа финансировалась за счет темы РАН № 65.1.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xue X., Ali Y.F., Luo W. et al. Biological Effects of Space Hypomagnetic Environment on Circadian Rhythm // *Front. Physiol.* 2021. V. 12. P. 643943.
2. Артамонов А.А., Карташова М.К., Плотников Е.В. и др. Гипомангнитные условия: способы моделирования и оценка воздействия // *Медицина экстремальных состояний.* 2019. Т. 21. № 3. С. 357.
3. Binhi V.N., Prato F.S. Biological effects of the hypomagnetic field: An analytical review of experiments and theories // *PLoS One.* 2017. V. 12. № 6. P. e0179340.
4. Любимов В.В., Рагульская М.В. Электромагнитные поля, их биотропность и нормы экологической безопасности // *Успехи современной радиофизики.* 2004. № 3. С. 49.
5. Гичев Ю.П., Гичев Ю.Ю. Влияние электромагнитных полей на здоровье человека. Аналит. обзор // *СО РАН. ГПНТБ. Новосибирск, 1999. 90 с. (Сер. Экология. Вып. 52).*
6. Тирас Х.П., Петрова О.Н., Мякишева С.Н., Асланиди К.Б. Биологические эффекты слабых магнитных полей: сравнительный анализ // *Фундаментальные исследования.* 2014. № 12–7. С. 1442.
7. Ciortea L.I., Morariu V.V., Todoran A., Popescu S. Life in zero magnetic field. III. Effect on zinc and copper in human blood serum during in vitro aging // *Electro Magnetobiol.* 2001. V. 20. № 2. P. 127.
8. Ciorba D., Morariu V.V. Life in zero magnetic field. III. Activity of aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase during in vitro aging of human blood // *Electro Magnetobiol.* 2001. V. 20. № 3. P. 313.
9. Севостьянова Е.В., Трофимов В., Куницин В.Г. и др. Влияние геофизических факторов на реологические свойства крови больных с хронической сердечно-сосудистой патологией // *Бюллетень СО РАМН.* 2007. Т. 27. № 5. С. 93.
10. Martino C.F., Perea H., Hopfner U. et al. Effects of weak static magnetic fields on endothelial cells // *Bioelectromagnetics.* 2010. V. 31. № 4. P. 296.
11. Truta Z., Neamtu S., Morariu V.V. Zero magnetic field influence on in vitro human spermatozoa cells behavior // *Romanian J. Biophys.* 2005. V. 15. № 1–4. P. 73.
12. Xu Y., Pei W., Hu W. A Current Overview of the Biological Effects of Combined Space Environmental Factors in Mammals // *Front. Cell Dev. Biol.* 2022. V. 10. P. 861006.
13. Jia B., Xie L., Zheng Q. et al. A Hypomagnetic Field Aggravates Bone Loss Induced by Hindlimb Unloading in Rat Femurs // *PLoS One.* 2014. V. 9. № 8. P. e105604.
14. Куранова М.Л., Павлов А.Е., Спивак И.М. и др. Воздействие гипомангнитного поля на живые системы // *Вестник СпБГУ.* 2010. Сер. 3. № 4. С. 99.
15. Rishabh R., Zadeh-Haghighi H., Salahub D., Simon C. Radical pairs may explain reactive oxygen species-mediated effects of hypomagnetic field on neurogenesis // *PLoS Comput. Biol.* 2022. V. 18. № 6. P. e1010198.
16. Хусаинов Д.Р., Кореньюк И.И., Шахматова В.И. и др. Особенности когнитивных процессов крыс в условиях умеренной гипомангнитной среды // *Биофизика.* 2020. Т. 65. № 5. С. 1025.
17. Khusainov D.R., Korenyuk I.I., Tumanyants K.N. et al. The peculiar features of cognitive processes in rats exposed to a hypomagnetic field using moderate magnetic shielding // *Biophysics.* 2020. V. 65. № 5. P. 876.
18. Привенная Н.В. Анализ методов и методик коррекции влияния космического и солнечного электромагнитных полей на биологические объекты // *Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. Серия Естественные науки.* 2003. № 1(6). С. 163.
19. Саримов Р.М., Бинги В.Н., Миляев В.А. Метод исследования влияния “магнитного вакуума” на цветовую память человека // *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2005. Т. 45. № 4. С. 451.
20. Binhi V.N., Sarimov R.M. Zero magnetic field effect observed in human cognitive processes // *Electromagn. Biol. Med.* 2009. V. 28. № 3. P. 310.
21. Толстой А.Д., Водопьянова А.А., Юдов А.Е. Воздействие различных уровней напряженности геомаг-

- нитного поля Земли на организм человека // Университетская Наука. 2022. Т. 13. № 1. С. 173.
21. *Gurfinkel Yu.I., Ar'kov O.Yu., Vasin A.L. et al.* Effect of zero magnetic field on cardiovascular system and microcirculation // *Life Sci. Space Res.* 2016. V. 8. P. 1.
 22. *Van der Oost R., Beyer J., Vermeulen N.P.E.* Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review // *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2013. V. 13. № 2. P. 57.
 23. *Подушкина И.В., Абанин А.М., Квасов С.Е. и др.* Роль самооценки здоровья в системе диагностики функциональных резервов организма у лиц опасных профессий // *Медицинский альманах.* 2016. № 2(42). С. 11.
 24. *Журавлева Т.В., Ничипорук И.А., Бубеев Ю.А. и др.* Психологические и метаболические особенности адаптации участников 17-суточного эксперимента "СИРИУС" к условиям изоляции в гермообъекте // *Авиакосм. и эколог. мед.* 2018. Т. 52. № 6. С. 37.
 25. *Камышников В.С.* *Справочник по клинико-биохимическим исследованиям и лабораторной диагностике.* М.: МЕДпресс-информ, 2009. 896 с.
 26. *Hoek F.J., Kempermann F.W., Krediet R.T.* A comparison between cystatin C, plasma creatinine and Cockcroft and Gault formula for the estimation of glomerular filtration rate // *Nephrol. Dial. Transplant.* 2003. V. 18. № 10. P. 2024.
 27. *Юречко О.В., Токарь Е.В.* Методико-практические занятия по дисциплине "Физическая культура" в ВУЗе. Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2008. 195 с.
 28. *Леонова А.Б.* Психодиагностика функциональных состояний человека. М.: Изд-во МГУ, 1984. 200 с.
 29. *Ситдиков Ф.Г., Зиятдинова Н.И., Зефиоров Т.Л.* Физиологические основы диагностики функционального состояния организма. Казань: КФУ, 2019. 105 с.
 30. *Кишкун А.А.* Руководство по лабораторным методам диагностики. М.: ГЭОТАР–Медиа, 2014. 760 с.
 31. *Kusche-Vihrog K., Urbanova K., Blanqué A. et al.* C-reactive protein makes human endothelium stiff and tight // *Hypertension.* 2011. V. 57. № 2. P. 231.

Influence of the Hypomagnetic Environment on the Metabolism and Psychophysiological Reactions of a Healthy Human

A. A. Markin^{a, *}, O. A. Zhuravleva^a, T. V. Zhuravleva^a, D. S. Kuzichkin^a, E. A. Markina^a,
A. V. Polyakov^a, L. V. Vostrikova^a, I. V. Zabolotskaya^a, V. I. Loginov^a

^a*Institute of Biomedical Problems of the RAS, Moscow, Russia*

*E-mail: andre_markine@mail.ru

8 male volunteers aged 26 to 44 years were examined, who were in the "Arfa" hypomagnetic environment simulation facility for 4 hours at a normal magnetic field level (background session), and twice within 24 hours: one session during hypomagnetic environment simulation. environment with an attenuation coefficient of 500, and one – in the conditions of the terrestrial magnetic field (placebo). Venous blood was collected at the end of each session. The values of 48 biochemical parameters reflecting the state of organs and tissues, as well as the main links of metabolism, were determined in plasma and serum. Psychological testing of the testers was carried out using the questionnaires "Assessment of acute physical fatigue" by R. Kinsman and P. Weiser adapted by A.B. Leonova and "Assessment of acute mental fatigue" by A.B. Leonova and N.N. Savicheva. The level of physical condition of the participants of the experiment was assessed according to the method of D.N. Davidenko. As a result of the first biochemical screening examination and psychological testing of volunteers who were in a simulated space-level hypomagnetic environment, it was established that the effect is stressful, accompanied by the activation of glycolysis, lipolytic processes, affects the acid-base balance of the body, the state of the vascular endothelium, leads to changes in the hepato-biliary system. At the same time, the index of physical fatigue among the volunteers increases, and the level of physical condition significantly decreases. Subjectively, pronounced changes in the biochemical parameters of stressful orientation are not felt.

Keywords: space medicine, hypomagnetic environment, biochemical screening examination, metabolism, psychophysiological reactions.