ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА, 2019, том 45, № 4, с. 90–95

УДК 612.821

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ХОЛЕСТЕРИНОВОГО ОБМЕНА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ С 17-СУТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ В ГЕРМООБЪЕКТЕ “SIRIUS 17”

© 2019 г. Е. А. Маркина[1], О. А. Журавлева[1], Д. С. Кузичкин[1], Л. Н. Мухамедиева[1], А. А. Маркин[1, *], Л. В. Вострикова[1], И. В. Заболотская[1], В. И. Логинов[1]

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

**E-mail: andre_markine@mail.ru*

Поступила в редакцию 12.09.2018 г.
После доработки 07.11.2018 г.
Принята к публикации 12.01.2019 г.

В международном эксперименте “*SIRIUS* 17” с 17-суточной изоляцией в гермообъеме, проведенном на базе наземного экспериментального комплекса ГНЦ РФ – ИМБП РАН, обследовали экипаж, состоящий из шести человек обоего пола в возрасте от 27 до 43 лет. В сыворотке крови испытателей определяли уровень общего холестерина, холестерина липопротеидов высокой плотности (ЛПВП), аполипопротеинов *A*1 (Апо*A*1) и *B* (Апо*B*), фосфолипидов, триглицеридов, неэстерифицированных (свободных) жирных кислот и β-гидроксибутирата. Рассчитывали концентрацию холестерина липопротеидов низкой (ЛПНП) и очень низкой (ЛПОНП) плотности, величины индекса атерогенности (ИА), отношений Апо*B*/Апо*A*1 и фосфолипиды/холестерин (ФЛ/ХС). Установлено, что в ходе эксперимента при практически неизменном уровне величин “базовых” параметров холестеринового обмена (холестерин, холестерин ЛПВП и ЛПНП, ИА, отношение ФЛ/ХС), уже с седьмых суток воздействия наблюдается повышение в крови показателей, характеризующих изменения в составе спектра липопротеидов, определяющих развитие атерогенеза. Увеличивается содержание холестерина ЛПОНП, триглицеридов, Апо*B*, повышается значение индекса Апо*B*/Апо*A*1. Таким образом, даже кратковременное воздействие факторов гермообъема приводит к появлению начальных сдвигов метаболизма липидов, характерных для активации процессов атерогенеза. На основе полученных результатов становится очевидной необходимость проведения углубленного исследования метаболизма липидов в ходе экспериментов с более продолжительными сроками изоляции.

Ключевые слова: космическая медицина, изоляция в гермообъеме, обмен липидов, атерогенез.

DOI: 10.1134/S0131164619040118

Длительное нахождение в условиях орбитального космического полета сопровождается развитием гиподинамии [1], снижением потребления кислорода [2, 3], уменьшением его напряжения в тканях и артериализованной крови [4], что сопровождается ингибированием процессов энергосинтеза и снижением энергопотребления [4, 5]. Вследствие минимализации функций организма [6] происходит снижение интенсивности реакций биологического окисления [7]. Обнаруженные изменения являются предпосылкой для активации синтеза холестерина и изменения липопротеидного состава его фракций. Долговременное психоэмоциональное напряжение усиливает эффект снижения физической активности на метаболизм холестерина и его фракций [8].

Во время длительных полетов на орбитальной станции “Мир” наблюдалось прогрессивное повышение содержания в крови космонавтов холестерина с увеличением продолжительности полета. Уровень холестерина липопротеидов высокой плотности (ЛПВП) снижался [9]. Биохимические исследования на борту Международной космической станции выявили повышение уровня холестерина в крови некоторых космонавтов, вдвое превышающее верхнюю границу референтного диапазона [10]. После длительных полетов у членов экипажей повышалось содержание холестерина, триглицеридов, холестерина липопротеидов низкой и очень низкой плотности, увеличивались индекс атерогенности и отношение холестерин/фосфолипиды [1].

Необходимость изучения особенностей холестеринового обмена у членов космических экспедиций обусловлена высокой степенью риска атерогенеза и развития неблагоприятных изменений в интиме сосудов, что в свою очередь повышает риск развития сердечно-сосудистых заболева-

ний. В ретроспективных когортных исследованиях показано, что сердечно-сосудистые заболевания являются основной причиной смерти российских космонавтов [11].

Современный уровень медицинского приборостроения не позволяет провести всестороннее исследование липидного обмена непосредственно в ходе космического полета, в связи с чем получение такого рода данных возможно пока только в наземных аналоговых экспериментах. Модель с изоляцией в гермообъеме позволяет воспроизвести действие на организм человека основных факторов космического полета за исключением невесомости и смоделировать его основные этапы [12]. В экспериментах с изоляцией продолжительностью до 135 сут были отмечены изменения холестеринового обмена, характерные для космических полетов – повышение содержания холестерина в крови и перераспределение его фракций в сторону преобладания атерогенных форм. Однако, следует подчеркнуть, что в ходе 240-суточной изоляции в гермообъеме таких изменений обнаружено не было [13].

Характеристикой атерогенеза служит не только наличие в крови четырех основных липопротеидов (хиломикроны, липопротеиды очень низкой (ЛПОНП), низкой (ЛПНП) и высокой (ЛПВП) плотности), а баланс всего большинства их форм, которых насчитывается около двух десятков [8]. Большую роль играют белки, влияющие на синтез и распределение этих фракций. Например, аполипопротеины *B* и *A*1 (Апо*B*, Апо*A*1), соотношение которых указывает на риск атерогенеза независимо от уровня липопротеидов, связанных с холестерином, даже когда их содержание не превышает границ нормы [14, 15]. Тестирование на аполипопротеины выявляет липидно-липопротеиновые диссонансы и дает информацию о риске атерогенеза, которая не выявляется при использовании традиционных показателей холестеринового обмена [16]. Фосфолипиды являются субстратом, необходимым для энзиматической этерификации холестерина и его дальнейшей утилизации в печени. Величина соотношения фосфолипиды/холестерин характеризует функцию липид-транспортной системы и состояние холестеринового обмена в целом, благодаря чему становится возможной оценка риска атеросклеротических процессов [17]. Повышение уровня неэстерифицированных (свободных) жирных кислот (НЭЖК) в печени приводит к серьезным нарушениям в цепи реакций метаболизма холестерина, в результате чего образуются гиператерогенные мелкие плотные частицы ЛПНП-холестерина и резко снижается уровень холестерина ЛПВП [18]. β-гидроксибутират (ГОБТ) может являться индикатором интенсивности обмена НЭЖК.

По всей видимости, метаболические реакции организма в период адаптации к невесомости могут служить базисом для дальнейшего формирования гомеостаза в ходе длительного космического полета. Ранее нами было показано, что в экспериментах с кратковременной изоляцией в гермообъеме “Луна 2015” (8 сут) и “*SIRIUS* 17” (17 сут) не отмечалось значимых изменений холестеринового обмена, однако, следует принять во внимание, что измерялись только основные его параметры [19].

Цель данной работы – исследование показателей липидного обмена, оказывающих влияние на синтез и распределение фракций холестерина в динамике эксперимента с 17-суточной изоляцией в гермообъеме.

МЕТОДИКА

В эксперименте с 17-суточной изоляцией в гермообъеме, проведенном на базе наземного экспериментального комплекса ГНЦ РФ – ИМБП РАН, обследовали экипаж, состоящий из шести человек обоего пола в возрасте от 27 до 43 лет. Основанием для объединения мужчин и женщин в одну группу явилось отсутствие гендерных различий по значениям референтных диапазонов всех исследуемых показателей за исключением Апо*A*1 и Апо*B*. Однако разница по последним не превышает 10% [20]. Взятие венозной крови проводили утром, натощак, за 7 сут до начала эксперимента, на 7 и 14 сут изоляции, а также на 2 и 7 сут периода восстановления (ПВ). В сыворотке крови определяли уровень общего холестерина, холестерина ЛПВП, аполипопротеинов *A*1 и *B*, фосфолипидов, триглицеридов, НЭЖК и ГОБТ. Концентрацию холестерина ЛПНП, холестерина ЛПОНП, величины индекса атерогенности (ИА), Апо*B*/Апо*A*1 и фосфолипиды/холестерин (ФЛ/ХС) – отношения рассчитывали по общепринятым формулам [21]. Измерения проводили на биохимическом анализаторе “*Targa BT* 3000” фирмы *Biotecnica Instruments* (Италия), используя наборы реагентов фирмы “*DiaSys*” (Германия). Статистическую обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики с применением пакета прикладных программ *Statistica for Windows* (США) с помощью критерия Уилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований представлены в табл. 1.

На протяжении всех сроков обследования содержание холестерина и его ЛПВП-фракции достоверно не отличалось от фоновых значений, незначительно повысившись только на 14 сут ПВ. Величины индекса атерогенности и отношения

Таблица 1. Показатели холестеринового обмена у испытателей в эксперименте с 17-суточной изоляцией в гермообъеме, *Me* (*qr*25–*qr*75), $n = 6$

Показатель	Сроки обследования, сутки				
	Фон, –7	7	14	+2	+7
ХС, ммоль/л	4.69 (4.17–4.73)	5.03 (4.32–5.34)/5/	5.32 (4.26–5.66)	4.85 (4.18–5.17)	4.88 (4.44–5.11)*
ЛПВП, ммоль/л	1.34 (1.26–1.42)	1.38 (1.35–1.47)/5/	1.42 (1.02–1.58)	1.45 (1.24–1.52)	1.47 (1.35–1.63)*
ЛПНП, ммоль/л	2.98 (2.41–3.15)	3.15 (2.68–3.18)/5/	3.5 (2.8–3.82)	2.88 (2.57–3.51)	3.02 (2.8–3.22)/5/
ЛПОНП, ммоль/л	0.33 (0.27–0.38)	0.44 (0.38–0.48)*/5/	0.43 (0.34–0.48)	0.30 (0.21–0.64)	0.24 (0.23–0.54)
ТГ, ммоль/л	0.72 (0.58–0.84)	0.96 (0.83–1.05)*/5/	0.94 (0.75–1.06)	0.65 (0.47–1.40)	0.53 (0.51–1.18)
ИА	2.33 (2.15–2.73)	2.13 (2.05–2.42)/5/	3.07 (2.82–3.23)	2.73 (2.38–2.86)	2.29 (2.19–2.48)/5/
ФЛ, ммоль/л	2.81 (2.69–2.94)	2.94 (2.9–3.25)	3 (2.95–3.09)	3.08 (3–3.24)*	2.93 (2.87–2.93)
ФЛ/ХС	0.621 (0.585–0.662)	0.617 (0.595–0.671)	0.562 (0.541–0.581)	0.645 (0.599–0.775)	0.629 (0.592–0.645)
Апо*A*1, г/л	1.64 (1.53–1.69)	1.59 (1.57–1.64)	1.54 (1.42–1.6)	1.57 (1.38–1.67)	1.67 (1.66–1.76)
Апо*B*, г/л	1.03 (0.97–1.28)	1.21 (1.19–1.24)*	1.44 (1.38–1.5)*	1.18 (1.14–1.39)*	1.29 (1.24–1.44)*
B/*A*1	0.609 (0.496–0.784)	0.79 (0.647–1.088)*	0.875 (0.83–1.004)*	0.732 (0.659–0.878)*	0.757 (0.72–0.957)*
НЭЖК, мкмоль/л	551 (444–639)	476 (382–515)	496 (430–529)	667 (594–868)*	538 (429–817)
ГОБТ, мкмоль/л	179 (154–198)	145 (139–149)*	131 (117–172)	227 (191–292)*	192 (177–204)

Примечание: в прямых скобках указано число обследуемых, отличающееся от обычного. * – различие с фоном $p < 0.05$.

ФЛ/ХС значимо не изменялись. Уровень холестерина ЛПНП так же достоверно не менялся во все сроки обследования.

В нашей предыдущей работе [19], посвященной исследованию холестеринового обмена в этом эксперименте, на основании полученных данных был сделан вывод, что при моделировании космического полета путем изоляции испытателей в гермообъеме, кратковременное воздействие продолжительностью до 17 сут не приводит к развитию сколько-нибудь значимых изменений холестеринового обмена и для решения вопроса о характере метаболических реакций в острой стадии адаптации к условиям полета, по всей видимости, следует использовать модели, создающие перераспределение жидких сред организма и разгрузку антигравитационных мышц – "сухую" иммерсию и антиортостатическую гипокинезию. Между тем, в двух экспериментах со 120-суточной антиортостатической гипокинезией, на 7 сут воздействия не было выявлено значимых изменений в величинах вышеперечисленных показателей холестеринового обмена как у мужчин, так и у женщин [22]. Очевидно, что традиционные показатели метаболизма холестерина на ранних этапах аналоговых космических экспериментов информативными не являются.

На 7 сут эксперимента достоверно, на 33% повысилось содержание холестерина ЛПОНП и, соответственно, триглицеридов. Оно сохранялось на этом уровне до конца изоляции. Следует отметить, что триглицериды, являясь источником ЛПОНП, достаточно агрессивного атерогенного агента, уже с 7 сут изоляции оказывали влияние на формирование неблагоприятных сдвигов в составе липопротеидных фракций крови. Отсутствие заметных отклонений от фоновых величин в содержании холестерина ЛПВП сопровождалось стабильным уровнем Апо*A*1 в крови, не отличающимся от базовых значений. Апо*A*1 является наиболее распространенным белком в ЛПВП. Путем активации лецитинхолестеролакрилтрансферазы он модулирует взаимодействия, которые влияют на кардиопротекторные функции ЛПВП [23]. В данном случае, моделируемое воздействие не повлияло на состояние системы Апо*A*1 – ЛПВП, что отразилось в неизменном уровне ее компонентов.

Апо*B* является наиболее информативным предиктором коронарного атеросклероза в популяции здоровых людей [24]. Содержание Апо*B* в ходе изоляции прогрессивно возрастало: на 7 сут изоляции оно повысилось на 17% относительно фонового уровня, к 14 сут эксперимента возросло на 40%, что отражает формирование сдвигов в композиции липопротеидов атерогенной направленности под воздействием факторов гермообъема и, в первую очередь, гиподинамии. На вторые сутки периода восстановления содержание Апо*B* было выше фоновых значений лишь на 15%, что указывает на обратимость изменений, а на седьмые увеличилось до 25%. Соотношение Апо*B*/Апо*A*1 тоже достоверно увеличивалось в диапазоне 20–44% относительно фоновых значений, указывая на появление тенденции к прогрессивному донозологическому повышению риска атерогенеза уже с 7 сут изоляции.

Установлено, что при развитии стресс-реакции у здорового человека индикатором активации процессов липолиза является повышение в крови уровня НЭЖК и ГОБТ [25]. Уровни НЭЖК и ГОБТ на 7 сут изоляции уменьшились на 14 и 19% соответственно, отражая снижение двигательной активности у испытателей. Однако на 2 сут ПВ уровень НЭЖК достоверно возрос на 21%, выйдя за верхний уровень референтного интервала, а концентрация ГОБТ повысилась на 27%. Данные изменения отражают развитие стресса реадаптации у испытателей по окончании экспериментального воздействия и активацию липолитического пути энергосинтеза. Учитывая модифицирующее действие НЭЖК на липопротеидный состав фракций холестерина [18], можно предполагать неблагоприятные последствия этого повышения в плане активации атерогенеза, что могло послужить причиной увеличения уровня Апо*B* и отношения Апо*B*/Апо*A*1 на 14 сут ПВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе эксперимента с 17-суточной изоляцией в гермообъеме при практически неизменном уровне величин "базовых" параметров холестеринового обмена (холестерин, холестерин липопротеидов высокой и низкой плотности, индекс атерогенности, отношение фосфолипиды/холестерин), уже с седьмых суток воздействия наблюдается повышение в крови показателей, характеризующих изменения в составе спектра липопротеидов, определяющих развитие атерогенеза. Увеличивается содержание Апо*B*, повышается значение индекса Апо*B*/Апо*A*1. При развитии стресса реадаптации по завершении экспериментального воздействия появляются признаки активации процессов липолиза – повышается концентрация неэстерифицированных жирных кислот и β-гидроксибутирата, что усиливает атерогенез. Таким образом, даже кратковременное воздействие факторов гермообъема приводит к появлению начальных сдвигов метаболизма липидов, характерных для активации процессов атерогенеза. На основе полученных результатов становится очевидной необходимость проведения углубленного исследования метаболизма липидов в ходе экспериментов с более продолжительными сроками изоляции.

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 и контракта № t-73089 от 02.10.2017 г. с *Wylelaboratories* (США).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ушаков А.С., Попова И.А.* Обмен веществ / Человек в космическом полете. М.: Наука, 1997. Т. 3. Кн. 1. Гл. 8. С. 328.
2. *Ade C.J., Broxterman R.M., Barstow T.J.* VO(2max) and Microgravity Exposure: Convective versus Diffusive O(2) Transport // Med. Sci. Sports. Exerc. 2015. V. 47. № 7. P. 1351.
3. *Hoffmann U., Moore A.D., Jr., Koschate J. et al.* VO_2 and HR kinetics before and after International Space Station missions // Eur. J. Appl. Physiol. 2016. V. 116. № 3. P. 503.
4. *Баранов В.М.* Газоэнергообмен человека в космическом полете и модельных исследованиях. М.: Наука, 1993. 126 с.
5. *Ade C.J., Broxterman R.M., Moore A.D. et al.* Decreases in maximal oxygen uptake following long-duration spaceflight: Role of convective and diffusive O_2 transport mechanisms // J. Appl. Physiol. (1985). 2017. V. 122. № 4. P. 968.
6. *Григорьев А.И., Попова И.А., Капланский А.С.* Минимизация функций регуляторных систем и обмена веществ в невесомости // Авиакосм. и экол. мед. 1993. Т. 27. № 5–6. С. 4.
7. *Popova I.A., Vetrova E.G., Zaitseva L.B. et al.* Metabolism in Cosmonauts: Results og Blood Biochemistry Studies in Crewmembers of 7 Prime Missions to the Orbital "Mir" Station // The Physiologist. 1992. V. 35. № 1. P. S240.
8. *Панин Л.Е.* Обмен липопротеинов и атеросклероз // Бюллетень СО РАМН. 2006. № 2. С. 15.
9. *Markin A., Strogonova L., Balashov O. et al.* The Dynamics of Blood Biochemical Parameters in Cosmonauts During Long-term Space Flights // Acta Astronautica. 1998. V. 42. № 1–8. P. 247.
10. *Ничипорук И.А., Моруков Б.В.* Исследование биохимических показателей в ходе длительных космических полетов на Международной космической станции // Международная космическая станция. Российский сегмент. Космическая биология и медицина. Воронеж: Научная книга, 2011. Т. 2. С. 228.
11. *Ushakov I.B., Bryleva M.S., Voronkov Y.I. et al.* A cohort mortality study among soviet and Russian cosmonauts, 1961–2014 // Aerospace Medicine and Human Performance. 2017. V. 88. № 12. P. 1060.
12. *Stuster J.* Analogue prototypes for Lunar and Mars exploration // Aviat. Space and Environ. Med. 2005. V. 76. № 6. P. B78.
13. *Маркин А.А., Журавлева О.А., Моруков Б.В. и др.* Гомеостатические реакции организма человека при воздействии условий 105-суточной изоляции // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2010. Т. 44. № 4. С. 31.
14. *Walldius G., Jungner I., Aastveit A.H. et al.* The Apo B/Apo A-I ratio is better than the cholesterol ratios to estimate the balance between plasma proatherogenic and antiatherogenic lipoproteins and to predict coronary risk // Clin. Chem. Lab. Med. 2004. V. 42. № 12. P. 1355.
15. *Zivanovic Z., Divjak I., Jovicevic M. et al.* Association between Apolipoproteins AI and B and Ultrasound Indicators of Carotid Atherosclerosis // Curr. Vasc. Pharmacol. 2018. V. 16. № 4. P. 376.
16. *Steffen B.T., Guan W., Remaley A.T. et al.* Apolipoprotein B is associated with carotid atherosclerosis progression independent of individual cholesterol measures in a 9-year prospective study of Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis participants // J. Clin. Lipidol. 2017. V. 11. № 5. P. 1181.
17. *Ефременко Ю.Р., Королева Е.Ф., Горшкова Т.Н.* Показатели липидного обмена и свободнорадикального окисления при метаболическом синдроме // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 2. С. 183.
18. *Вельков В.В.* Предикторы. Новые возможности для диагностики потенциально фатальных патологий и оценки рисков их осложнений. М.: Lomonosoff Print, 2009. 34 с.
19. *Маркина Е.А., Ильченко Е.В., Кузичкин Д.С. и др.* Показатели холестеринового обмена у испытателей при кратковременной изоляции в гермообъеме // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 4. С. 77.
20. *Хейль В., Шуклис Ф., Цавта Б.* Референтные пределы у взрослых и детей. Преаналитические предосторожности. Тула: Тульское производственно-полиграфическое объединение, 1996. 144 с.
21. *Камышников В.С.* Справочник по клинико-биохимическим исследованиям и лабораторной диагностике. М.: МЕД пресс-информ, 2009. 896 с.
22. *Мухамедиева Л.Н., Маркина Е.А., Журавлева О.А. и др.* Особенности холестеринового обмена у мужчин и женщин в условиях длительного моделированного космического полета // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 1. С. 61.
23. *Cooke A.L., Morris J., Melchior J.T. et al.* A thumbwheel mechanism for APOA1 activation of LCAT activity in HDL // J. Lipid Res. 2018. V. 59. № 7. P. 1244.
24. *Song X., Tian S.P., Ju H.Y. et al.* Predictive value of apolipoprotein for coronary atherosclerosis in asymptomatic non-diabetic population // Zhongguo Yi Xue Ke

Xue Yuan Xue Bao (Acta Academiae Medicinae Sinicae). 2015. V. 37. № 1. P. 55.

25. *Кишкун А.А.* Руководство по лабораторным методам диагностики. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 760 с.

Dynamics of Lipid Metabolism in Volunteers during Short-Term Isolation in a Hermetic Chamber

E. A. Markina[a], O. A. Zhuravleva[a], D. S. Kuzichkin[a], L. N. Mukhamedieva[a], A. A. Markin[a, *], L. V. Vostrikova[a], I. V. Zabolotskaya[a], V. I. Loginov[a]

[a] *Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**E-mail: andre_markine@mail.ru*

In this study we examined the crew of the international experiment "SIRIUS 17" with 17-day isolation in a hermetic chamber. The experiment was conducted on the basis of the experimental complex of the Institute of Biomedical Problems (Russian Academy of Sciences). The crew consisted of six people of both sexes aged 27 to 43 years. We measured the serum level of total cholesterol, high-density lipoprotein cholesterol (HDL), apolipoproteins A1 and B, phospholipids, triglycerides, nonesterified (free) fatty acids, and β-hydroxybutyrate. Then we calculated the concentration of low-density lipoprotein cholesterol (LDL) and very low density lipoprotein cholesterol (VLDL), the value of the atherogenicity index (IA), the ApoB/ApoA1 and the phospholipids/cholesterol ratios (PL/CHO). It was found that the "basic" parameters of cholesterol metabolism (cholesterol, HDL and LDL cholesterol, IA, the ratio of FL/CHO) were almost constant during the experiment, while the parameters indicative of the changes in the lipoprotein spectrum were changing, which reflects the development of atherogenesis. The content of VLDL cholesterol, triglycerides, and ApoB was increasing, as well as the value of ApoB/ApoA1 index. Thus, even a short-term effect of the factors of the hermetic volume leads to the initial shifts in the metabolism of lipids, which indicate the activation of atherogenesis processes. Our findings show that further studies are needed to investigate changes in the lipid metabolism in experiments with longer periods of isolation.

Keywords: space medicine, isolation in the hermetic volume, lipid metabolism, atherogenesis.