

УДК 004.896:629.78.007

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОТСРОЧЕННЫХ ЭФФЕКТОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА ЗДОРОВЬЕ КОСМОНАВТА

Р.Р. Каспранский, Е.Д. Фабер, И.В. Кошель

Канд. мед. наук Р.Р. Каспранский; Е.Д. Фабер; докт. мед. наук И.В. Кошель
(ФГБУ «ФНКЦ КМ» ФМБА)

Системный подход к оценке влияния факторов космического полета на здоровье человека невозможен без анализа отсроченных эффектов на организм космонавта. В статье рассматриваются результаты обследования 36 космонавтов, завершивших летную деятельность. Проведен статистический анализ с целью изучения связи выявленных заболеваний космонавтов с профессиональными факторами космического полета. Полученные данные позволят совершенствовать систему медицинского обеспечения пилотируемых полетов.

Ключевые слова: медицинские исследования, долголетие космонавтов, лонгитюдные исследования, медицинская статистика

Statistical Analysis Effects of Delayed Effects of Space Flight on the Health of Cosmonauts. R.R. Kaspransky, E.D. Faber, I.V. Koshel

A systematic approach to the assessment of the space flight factors impact on human health is impossible without analyzing the delayed effects of space flight on the cosmonaut health. The paper discusses the results of a survey of 36 cosmonauts, who completed their flight activities. A statistical analysis was carried out to study the connection between the identified diseases and occupational factors of space flight. The data obtained will allow us to improve the medical support system for manned flights.

Keywords: medical studies, longevity of cosmonauts, longitudinal studies, medical statistics

Несмотря на изменения в состоянии здоровья космонавтов в результате воздействия факторов космического полета, большинство физиологических показателей возвращается к предполетной норме по возвращении на Землю. Динамика реадaptации после космического полета достаточно хорошо изучена и используется для планирования мероприятий послеполетной реабилитации космонавтов. Гораздо меньше известно о потенциальных долгосрочных последствиях космического полета, которые не проявляются в медицинских данных в течение полета и сразу после него. Выявление долгосрочного воздействия факторов космической среды на здоровье человека является сложной задачей ввиду сочетанности эффектов влияния космического полета и возрастных изменений, а также малой выборки. Для анализа данных эффектов необходимо непрерывно отслеживать здоровье космонавтов в течение

многих лет после завершения полетов. Особую актуальность эта задача приобретает в отношении онкологических заболеваний, для манифестации которых могут потребоваться десятилетия. Существует также проблема отсутствия систематизированного сбора данных о здоровье космонавтов, завершивших летную деятельность. Для получения более точной информации о воздействии космической среды на заболеваемость и смертность необходимо проводить систематические исследования на регулярной основе для этой группы людей [1].

Исследования отсроченного влияния факторов космического полета на организм космонавта с 2013 г. проводились в рамках программы «Долголетие» в ФГБУ «ФНКЦ КМ» ФМБА России. В ходе обследования космонавты распределялись по группам в соответствии с возрастной периодизацией [2]. По результатам данных исследований за период с 2013 по 2016 г. было выявлено с помощью лепестковых диаграмм, что структура заболеваемости космонавтов этих возрастных групп близка к структуре заболеваемости жителей Москвы. Однако, несмотря на это, насколько нам известно, в научной литературе отсутствуют статистические исследования, которые могли бы прояснить вклад аспектов профессиональной деятельности и медицинских рисков в здоровье космонавтов.

Программа углубленного обследования космонавтов в рамках проекта «Долголетие» включает консультации специалистов и углубленное обследование с применением современных методов диагностики [3]. Главной задачей таких обследований являлось документирование медицинских случаев острых и хронических заболеваний космонавтов. В рамках настоящего исследования проводился статистический анализ собранного архива данных за десятилетний период исследований.

Материалы и методы

С 2013 г. по настоящее время проведены обследования 36 космонавтов мужского пола в возрасте от 45 до 88 лет. Первичное обследование было проведено в период с 2013 по 2018 г. и далее проводились повторные обследования без четкой периодичности. Нами был проведен анализ выборки, выявлена структура хронической заболеваемости.

Затем для проведения статистического анализа был рассчитан числовой эквивалент здоровья космонавтов, который мы назвали Ранг тяжести болезни (РТБ). Он определялся с привлечением метода попарного сравнения. Данный метод является частью обширной области теории принятия решений, а само экспертное оценивание – процедурой получения оценки проблемы на основе мнения специалистов (экспертов) с целью последующего принятия решения.

Попарное сравнение можно проводить при большом числе объектов сравнения. При использовании метода чаще всего составляется матрица размером $n \times n$, где n – количество сравниваемых объектов. В табл. 1 показан

пример такой матрицы. При сравнении космонавтов матрица заполнялась элементами a_{ij} следующим образом: «2» – если диагноз i значительно тяжелее диагноза j ($i > j$); «1» – если установлено относительное равенство тяжести заболеваний ($i = j$); «0» – если диагноз j легче диагноза i ($i < j$) [4]. Учитывая, что $n = 36$, минимальная суммарная оценка для каждого из космонавтов равна 0, а максимальная – $2n-1$, то есть 70 условных баллов. Таким образом, экспертная оценка – это сумма баллов по каждому космонавту.

Таблица 1

Вид матрицы попарных сравнений экспертов

	1	2	3	...	j	...	n	Σ
1		a_{12}	0	0	2	0	0	...
2	0		0	0	0	0	0	...
3	2	2		1	2	1	2	...
...	2	2	1		2	2	2	...
i	2	2	0	0		0	1	...
...	2	2	1	0	2		2	...
n	2	2	0	0	1	0		...

В ходе исследования было получено три экспертных оценки специалистов из области космической медицины, которые имеют многолетний опыт работы с космонавтами. В случае участия в опросе нескольких экспертов расхождение неизбежно, однако величина этого расхождения имеет значение. Групповая оценка может считаться достаточно надежной только при условии хорошей согласованности ответов отдельных специалистов, поэтому нами также был проведен анализ разброса и согласованности оценок, приведенный в результатах. Получив, таким образом, параметр РТБ как среднее арифметическое трех оценок, мы выдвигаем предположение о том, что факторы космического полета могут отражаться на состоянии здоровья космонавтов, выраженном в количественном эквиваленте.

Для определения этих факторов профессиональной деятельности космонавтов необходимо было провести анализ доступных данных, которые гипотетически могут давать вклад в здоровье. Мерой профессиональной деятельности космонавта является время, проведенное им на орбите. В качестве факторов влияния космической среды были рассмотрены такие характеристики как общая длительность полетов (ОДП), выраженная в сутках, суммарная длительность выходов в открытый космос – время внекорабельной деятельности (ВКД). Фактор ВКД мы рассматриваем отдельно от ОДП, поскольку каждый выход (в среднем 5–6 ч.) в открытый космос эквивалентен одному «лишнему» дню на станции при рассмотрении доз радиационной нагрузки в невозмущенных радиационных условиях [5]. В рассмотрении были приняты такие факторы: возраст и время, прошедшее с последнего полета

на момент обследования (ΔT), контрольные параметры проверки полученных результатов.

Таким образом, нулевая гипотеза заключалась в отсутствии связи между состоянием здоровья, выраженным в РТБ и другими параметрами, такими как ОДП, возраст и время, прошедшее с последнего полета (ΔT). Альтернативная гипотеза предполагает наличие связи между указанными факторами и состоянием здоровья, на основе результатов экспертной оценки.

В качестве статистических методов применялся метод линейной корреляции Пирсона для нормальных распределений и метод ранговой корреляции Спирмена в остальных случаях. Для каждой выборки статистическая значимость была принята за 5 % ($\alpha = 0,05$).

Проверка массивов данных для 36 космонавтов на нормальное распределение показала, что все независимые параметры, кроме ВКД, распределены нормально. Вклад ВКД учитывался отдельно, поскольку более 20 % космонавтов из данной выборки не совершали ВКД.

Выборка. Средний возраст у обследованных космонавтов на момент первого обследования составил 66 лет. Четыре космонавта были старше 80 лет. Необходимо отметить, что 83 % космонавтов прошли первое обследование по данной программе спустя 10 лет (рис. 1). У семи космонавтов (19 %) после последнего полета прошло более 36 лет. В связи с этим определение влияния выполненных космических полетов на состояние здоровья представляло значительную трудность.

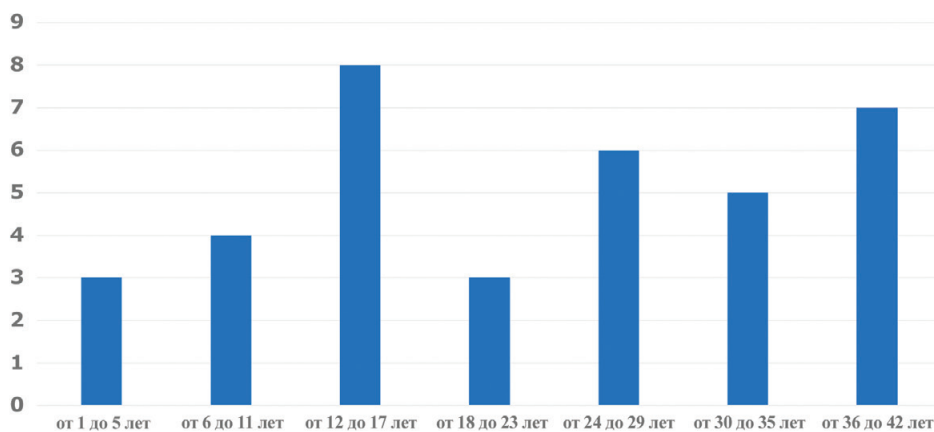


Рис. 1. Диаграмма распределения времени, прошедшего после последнего полета на момент исследования

В табл. 2 представлены значения основных статистических параметров выбранных характеристик внутри выборки.

Космонавты анализируемой группы совершили от одного до шести полетов, 83 % космонавтов выполнили два полета, что является средним и медианой выборки, ВКД не выполнялась восемью космонавтами.

Таблица 2

Статистика общих данных по космонавтам ($n = 36$)

Показатель	Возраст	ΔT	Количество полетов	ОДП	ВКД (час)
Среднее	65,6	22,3	2,4	280,4	13,8
Медиана	66,5	23,5	2	227,2	9,4
Стандартное отклонение	11,3	12	1,08	216,6	17,1
Минимум	45	2	1	2	0
Максимум	86	42	6	803,4	78,8

На диаграмме (рис. 2) показано общее количество совершенных полетов и общая их длительность, выраженная в сутках. Как мы видим, в среднем космонавты совершали 2–3 полета и на них приходится наибольшее общее время, проведенное в космосе. Статистика в табл. 2 по таким параметрам как возраст и количество полетов совпадает с генеральной выборкой по 131 космонавту (по состоянию на 2023 г.). Средняя общая длительность в исследуемой группе, исходя из табл. 2, составила приблизительно 280 сут., в то время как подсчитанная нами средняя длительность полетов 131 космонавта составляет приблизительно 242 сут. В целом имеющуюся выборку из 36 космонавтов можно считать репрезентативной.

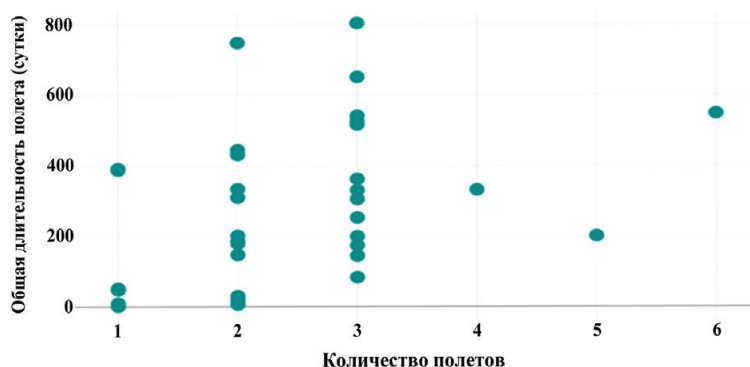


Рис. 2. Распределение ОДП, выраженной в сутках в зависимости от числа полетов

Далее охарактеризуем нашу выборку по структуре заболеваемости. Для связи данных параметров с состоянием здоровья в ходе проведенных углубленных обследований были выявлены болезни, которые классифицировались для целей статистического анализа согласно Международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем (МКБ). Было выявлено 15 классов заболеваний, сумма которых была взята за 100 % в качестве интегрального показателя состояния здоровья. Результаты представлены на рис. 3.



Рис. 3. Диаграмма распределения частоты встречаемости заболеваний по МКБ среди обследованных космонавтов:

другое – симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях, не классифицированные в других рубриках; *классы* – заболевания по МКБ-10 сокращены для наглядности

У всех 36 испытуемых были выявлены заболевания желудочно-кишечного тракта, что делает этот тип заболеваний наиболее широко представленным в исследуемой группе.

Также у 34 космонавтов (94,4 %) были выявлены заболевания сердечно-сосудистой системы (ССЗ) различной степени тяжести, что в целом ставит этот тип заболеваний наравне с первым местом.

Третье место (27 чел. или 75 %) по распространенности делят между собой заболевания, относящиеся к дистрофическим и дегенеративным изменениям зрительного анализатора и заболевания органов дыхания.

В предыдущих работах при изучении факторов риска развития ССЗ у космонавтов в возрасте 40–65 лет выявлена гиперлипидемия – 22,5 % [6]. При этом было выявлено, что у 20 % космонавтов имеется отягощенная наследственность по сердечно-сосудистой патологии. Было отмечено, что при сравнении возрастных групп прослеживается закономерная тенденция к росту количества нозологий с увеличением возраста, выявлению новообразований, увеличению количества проведенных оперативных вмешательств.

Результаты. Промежуточные данные, введенного нами интегрального параметра РТБ, представляют собой три числовые независимых оценки здоровья от 0 до 70 баллов. В табл. 3 приведены статистические характеристики

полученных оценок РТБ для *трех экспертов* соответственно. Охарактеризованная таким образом выборка позволяет проанализировать разброс и согласованность оценок. Как можно заметить эксперты были близки в своих оценках, и все параметры отличаются незначительно.

Таблица 3

Анализ разброса и согласованности оценок

Показатель	Эксперт		
	1	2	3
Среднее	35,06	35,08	35,17
Медиана	36,5	34,5	35,5
Стандартное отклонение	20,15	20,32	20,02
Дисперсия	406	412,88	400,77
Минимум	1	2	1
Максимум	68	69	69

Для того чтобы убедиться в этом, мы проводим корреляционный анализ согласованности полученных показателей, представленный в табл. 4. Все полученные значения показывают положительную корреляцию с высокой статистической значимостью $p < 0,001$ (p – коэффициент ранговой корреляции Спирмена).

Таблица 4

Матрица корреляций экспертной оценки

Эксперт	1	2	3
1	1,0	0,94	0,93
2	0,94	1,0	0,91
3	0,93	0,91	1,0

Ввиду малого количества экспертов, а также хорошей согласованности их оценок, конечный параметр РТБ есть среднее арифметическое трех оценок экспертов для каждого космонавта.

Далее представлены коэффициенты корреляции (верхнее значение) и соответствующие значения статистической значимости (нижнее значение) для всех параметров сравнения (табл. 5). Интересующие значения выделены серым. Так, РТБ показывает высокую положительную корреляцию (больше 0,75 и $p < 0,001$) с такими параметрами как возраст и ΔT (временем, прошедшим с последнего полета на момент обследования). С другой стороны, ВКД и ОДП показывают высокую отрицательную корреляцию. Все значения обладают статистической значимостью $p < 0,001$, кроме ОДП. Таким образом, мы приходим к выводу, что верна альтернативная гипотеза.

Таблица 5

**Коэффициенты корреляции и соответствующие значения
статистической значимости для РТБ**

Параметры	Возраст	ΔТ	ОДП	ВКД	РТБ
Возраст	1	0,92 < 0,001	-0,47 0,004	-0,51 0,001	0,77 < 0,001
ΔТ	0,92 < 0,001	1	-0,57 < 0,001	-0,55 < 0,001	0,75 < 0,001
ОДП	-0,47 0,004	-0,57 < 0,001	1	0,74 < 0,001	-0,48 0,003
ВКД	-0,51 0,001	-0,55 < 0,001	0,74 < 0,001	1	-0,68 < 0,001
РТБ	0,77 < 0,001	0,75 < 0,001	-0,48 0,003	-0,68 < 0,001	1

Также стоит отметить полученные корреляции между другими параметрами. Так, к примеру, значения возраст и ΔТ значимо коррелируют (0,92 $p < 0,001$). Действительно, в рамках выборки чем больше возраст космонавта, тем больше времени прошло с его последнего полета, которым завершилась его карьера, что очевидно. Также стоит отметить, что возраст и ОДП показывают отрицательную корреляцию 0,47 ($p = 0,004$). Данные были сравнены с общей выборкой по всем космонавтам, где сохраняется отрицательная корреляция (-0,19 при $p = 0,003$).

Обсуждение

Анализ состояния здоровья 36 космонавтов, в частности, с введенным нами РТБ как численным эквивалентом для оценки состояния здоровья помог в изучении и выявлении связей между профессиональными факторами космического полета и последующими проблемами со здоровьем.

Наши результаты указывают на высокую распространенность желудочно-кишечных заболеваний среди испытуемых, причем у всех 36 космонавтов были диагностированы различные желудочно-кишечные заболевания. Это согласуется с существующей литературой, где предполагается, что желудочно-кишечные расстройства распространены среди астронавтов потенциально из-за вызванных микрогравитацией изменений в моторике и микрофлоре кишечника [7].

До 50 % астронавтов также демонстрируют иммунодефицит при возвращении на Землю, что делает их уязвимыми для инфекций. Считается, что основная причина этих изменений обусловлена микрогравитацией, изоляцией и стрессом, связанными с космическим полетом, а также сдвигами в кишечном микробиоме. Физиологические стрессоры космического полета,

включая измененные диетические модели и психологический стресс, могут усугублять эти состояния [8, 9].

Кроме того статистика по ССЗ, вызывает некоторые опасения. Высокие значения ССЗ в нашей выборке подчеркивают важность долгосрочного мониторинга показателей сердечно-сосудистой системы для космонавтов как во время, так и после их экспедиций. Так в исследовании НАСА по изучению возможных долгосрочных последствий космических миссий, проведенном в сотрудничестве с Институтом Купера, группа из 303 астронавтов с опытом выполнения космических полетов с 1970 г. была сравнена с группой из 1514 участников продольного исследования Cooper Center (CCLS) аналогичного возраста, пола и состояния здоровья, а также уровня физической подготовки [10]. Результаты показали, что в обеих группах показатели смертности от сердечных заболеваний ниже среднего в течение 30 лет наблюдения. Не было обнаружено никакой разницы в будущем риске смерти, связанной с сердечными заболеваниями, у астронавтов по сравнению с участниками CCLS. Тем не менее у изученных астронавтов были замечены доказательства незначительного повышенного риска нефатальных сердечных приступов и инсультов, а также стоит отметить, что среднее арифметическое ОДП всех американских астронавтов равно приблизительно 74 сут. В исследовании [10] сравнения группы астронавтов с контрольной группой факторы сердечно-сосудистого риска, такие как уровень холестерина и артериальное давление, оказались одинаковыми. Но важно отметить, что среднее время ОДП у американских астронавтов в данном исследовании составляло 27 дней, в то время как в нашей выборке среднее ОДП в 10 раз больше и составляет 280 дней. Наконец, существует вопрос о том, насколько существенным является радиационное воздействие [11]. В статистическом исследовании [12] не удалось найти достаточных доказательств, подтверждающих, что задокументированные дозы космической радиации представляют избыточный риск смертности для астронавтов и космонавтов как одного из факторов риска для их здоровья.

Статистический анализ выявил связь между РТБ и различными профессиональными факторами, включая ОДП, возраст и время с момента последнего полета (ΔT). Нулевая гипотеза об отсутствии связи была отвергнута в пользу альтернативной гипотезы, которая подтвердила значимые связи с высокой статистической значительностью. Как и ожидалось, РТБ положительно коррелирует с возрастом, чем человек старше, тем больше у него проблем со здоровьем и космонавты не являются исключением. Также подтверждается, что чем больше времени прошло после окончания полета до момента исследования, тем старше обследуемый космонавт. В то же время был получен интересный и неожиданный результат с отрицательной корреляцией параметров ОДП и ВКД с РТБ. Эти данные не имеют подтверждения в научной литературе и требуют дальнейшего изучения. Возможным и логичным предположением в данном случае будет гипотеза о том, что наиболее

здоровые космонавты селективно отбирались на большее количество миссий или на более продолжительные миссии, каждый раз проходя медицинский отбор. Стоит отметить, что данный результат может быть продиктован лимитирующими факторами нашего исследования. К ним следует отнести небольшую выборку космонавтов, субъективность оценки экспертов, учитывая их скромное количество для нашего пилотного исследования, а также и дизайн нашего исследования с привлечением метода попарного сравнения и конвертации состояния здоровья в числовой коэффициент.

Выводы

В данном исследовании нами была определена частота встречаемости заболеваний у космонавтов, закончивших профессиональную деятельность. Наиболее часто наблюдаются заболевания органов пищеварения, а также ССЗ. На втором месте находятся заболевания зрительного анализатора и органов дыхания.

Была выявлена статистически значимая ($< 0,001$) связь РТБ с возрастом и временем, прошедшим после окончания летной деятельности на момент обследования (ΔT) и с ВКД, выраженным в часах. ОДП имеет отрицательную корреляцию с РТБ ($-0,48$ и $p = 0,003$). То есть чем больше космонавт совершил ВКД и чем больше суток он провел в космосе, тем меньше его РТБ. Данная связь не подкреплена результатами других исследований или экспериментов, поэтому пока что данный вывод остается научно необоснованным.

Для дальнейшего развития исследований в данном направлении рекомендуется:

- разработать интегральные показатели здоровья, позволяющие оценить степень тяжести комплекса болезней при полиорганной патологии;
- продолжить углубленные медицинские обследования по данной программе для повышения статистической достоверности результатов.

Авторы выражают признательность С.Ю. Захарову, Е.А. Руденко, О.Н. Новиковой, М.В. Баранову за предоставление данных проекта «Долголетие» для данного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов, М.В. Влияние общей продолжительности космических полетов на структуру заболеваемости и тяжесть течения болезней у космонавтов-ветеранов по результатам углубленного медицинского обследования / М.В. Баранов, Р.Р. Каспранский // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2023. – № 6(55). – С. 5–10.
2. Захаров, С.Ю. Структура заболеваемости летчиков-космонавтов различных возрастных групп после завершения летной деятельности / С.Ю. Захаров, Е.А. Руденко, О.Н. Новикова, М.В. Баранов // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2018. – № 3(52). – С. 38–41.

3. Баранов, М.В. Программа медицинского обследования космонавтов, завершивших летную деятельность / М.В. Баранов, С.Ю. Захаров, О.Н. Новикова, Е.А. Руденко // Медицина экстремальных ситуаций. – 2016. – № 1(55). – С. 19–24.
4. Applying the analytic hierarchy process in healthcare research: a systematic literature review and evaluation of reporting / K. Schmidt, I. Aumann, I. Hollander [et al.] // BMC Med Inform Decis Mak. – 2015. – No 15(112).
5. Самойлов, А.С. Радиационное воздействие в орбитальных и межпланетных космических полетах: мониторинг и защита / А.С. Самойлов, И.Б. Ушаков, В.А. Шуршаков // Экология человека. – 2019. – № 1. – С. 4–9.
6. Захаров, С.Ю. Сердечно-сосудистые заболевания у летчиков-космонавтов после завершения летной деятельности / С.Ю. Захаров, Е.А. Руденко, О.Н. Новикова, М.В. Баранов // Медицина экстремальных ситуаций. – 2020. – № 2(22). – С. 193–198.
7. Spaceflight alters host-gut microbiota interactions / E. Gonzalez, M.D. Lee, B.T. Tierney [et al.]. – DOI:10.1038/s41522-024-00545-1. – Text: electronic // NPJ Biofilms Microbiomes. – 2024. – No 10. – 71 p. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41522-024-00545-1.pdf>. – Date of publication: 29.08.2024.
8. Gut permeability among Astronauts during Space missions / S. Akinsuyi, J. Xhumari, A. Ojeda, Luiz F.W. Roesch // Life Sciences in Space Research. – 2024. – Vol. 41. – P. 171–180.
9. Study of the impact of long-duration space missions at the International Space Station on the astronaut microbiome / A.A. Voorhies, C. Mark Ott, S. Mehta [et al.] // Sci Rep. – 2019. – No 9. – 9911 p.
10. Long-term cardiovascular risk in astronauts: comparing NASA Mission astronauts with a healthy cohort from the cooper center longitudinal study / J.M. Charvat, D. Leonard, C.E. Barlow [et al.]. – DOI: 10.1016/j.mayocp.2022.04.003. – Text: electronic // Mayo Clinic Proceedings. – 2022. – Vol. 97(7). – P. 1237–1246. – URL: [https://www.mayoclinicproceedings.org/article/S0025-6196\(22\)00217-8/abstract](https://www.mayoclinicproceedings.org/article/S0025-6196(22)00217-8/abstract). – Date of publication: 01.07.2022.
11. Myocardial disease and long-distance space travel: solving the radiation problem / M. Meerman, Tom C. L. Bracco Gartner, J.W. Buikema [et al.] – DOI: 10.3389/fcvm.2021.631985 // Frontiers in Cardiovascular Medicine. – 2021. – Vol. 8. – 631985 p. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/cardiovascular-medicine/articles/10.3389/fcvm.2021.631985/full>. – Date of publication: 12.02.2022.
12. logic suggests space radiation not having a strong impact on mortality of US astronauts and Soviet and Russian cosmonauts / R.J. Reynolds, I.V. Bukhtiyarov, G.I. Tikhonova [et al.] // Scientific Reports. – Vol. 9(1). – 8583 p.

REFERENCES

1. Baranov, M.V. The influence of the total duration of space flights on the structure of morbidity and severity of diseases in veteran cosmonauts based on the results of an in-depth medical examination / M.V. Baranov, R.R. Kaspransky // Aerospace and Environmental Medicine. – 2023. – No 6(55). – P. 5–10.
2. Zakharov, S.Y. Morbidity structure of pilot-cosmonauts of different age groups after completion of flight activities / S.Y. Zakharov, E.A. Rudenko, O.N. Novikova, M.V. Baranov // Aerospace and Environmental Medicine. – 2018. – No 3(52). – P. 38–41.

3. Baranov, M.V. Medical examination program for cosmonauts who have completed their flight activities / M.V. Baranov, S.Y. Zakharov, O.N. Novikova, E.A. Rudenko // *Medicine of Extreme Situations*. – 2016. – No 1(55). – P. 19–24.
4. Applying the analytic hierarchy process in healthcare research: a systematic literature review and evaluation of reporting / K. Schmidt, I. Aumann, I. Hollander [et al.] // *BMC Med Inform Decis Mak*. – 2015. – No 15(112).
5. Samoilov, A.S. Radiation exposure in orbital and interplanetary space flights: monitoring and protection / A.S. Samoilov, I.B. Ushakov, V.A. Shurshakov // *Human Ecology*. – 2019. – No 1. – P. 4–9
6. Zakharov, S.Yu. Cardiovascular diseases in cosmonauts after completion of flight activities / S.Yu. Zakharov, E.A. Rudenko, O.N. Novikova, M.V. Baranov // *Medicine of Extreme Situations*. – 2020. – No 2(22). – P. 193–198.
7. Spaceflight alters host-gut microbiota interactions / E. Gonzalez, M.D. Lee, B.T. Tierney [et al.]. – DOI:10.1038/s41522-024-00545-1. – Text: electronic // *NPJ Biofilms Microbiomes*. – 2024. – No 10. – 71 p. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41522-024-00545-1.pdf>. – Date of publication: 29.08.2024.
8. Gut permeability among Astronauts during Space missions / S. Akinsuyi, J. Xhumari, A. Ojeda, Luiz F.W. Roesch // *Life Sciences in Space Research*. – 2024. – Vol. 41. – P. 171–180.
9. Study of the impact of long-duration space missions at the International Space Station on the astronaut microbiome / A.A. Voorhies, C. Mark Ott, S. Mehta [et al.] // *Sci Rep*. – 2019. – No 9. – 9911 p.
10. Long-term cardiovascular risk in astronauts: comparing NASA Mission astronauts with a healthy cohort from the cooper center longitudinal study / J.M. Charvat, D. Leonard, C.E. Barlow [et al.]. – DOI: 10.1016/j.mayocp.2022.04.003. – Text: electronic // *Mayo Clinic Proceedings*. – 2022. – Vol. 97(7). – P. 1237–1246. – URL: [https://www.mayoclinicproceedings.org/article/S0025-6196\(22\)00217-8/abstract](https://www.mayoclinicproceedings.org/article/S0025-6196(22)00217-8/abstract). – Date of publication: 01.07.2022.
11. Myocardial disease and long-distance space travel: solving the radiation problem / M. Meerman, Tom C.L. Bracco Gartner, J.W. Buikema [et al.] – DOI: 10.3389/fcvm.2021.631985 // *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. – 2021. – Vol. 8. – 631985 p. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/cardiovascular-medicine/articles/10.3389/fcvm.2021.631985/full>. – Date of publication: 12.02.2022.
12. Contrapositive logic suggests space radiation not having a strong impact on mortality of US astronauts and Soviet and Russian cosmonauts / R.J. Reynolds, I.V. Bukhtiyarov, G.I. Tikhonova [et al.] // *Scientific Reports*. – Vol. 9(1). – 8583 p.