



## МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТУЧНЫХ КЛЕТОК В ОРГАНАХ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНГОЛЬСКИХ ПЕСЧАНОК ПОСЛЕ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

<sup>1</sup>Бурцева А.С., <sup>1</sup>Алексеева Н.Т., <sup>1</sup>Кварацхелия А.Г., <sup>2</sup>Кокорева Т.В.,  
<sup>3</sup>Бахмет А.А., <sup>1</sup>Фетисов С.О.

<sup>1</sup>Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия;  
<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия; <sup>3</sup>Российский национальный  
исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия, e-mail: markovii2601@yandex.ru

### Резюме

**Актуальность.** Пищеварительная система является одной из основных систем, обеспечивающих жизнедеятельность организма. Оценка структурно-функциональных изменений в органах этой системы имеет важное значение для выявления компенсаторно-приспособительных реакций организма при воздействии факторов космического полёта. Тучные клетки играют ключевую роль в регуляции местного гомеостаза и адаптационных процессах, однако их морфофункциональное состояние при воздействии невесомости остаётся недостаточно изученным.

**Цель исследования:** изучить морфофункциональные особенности тучных клеток в органах пищеварительной системы монгольских песчанок после орбитального полёта.

**Материалы и методы.** Эксперимент выполнен на монгольских песчанках *Meriones unguiculatus* (самцах) в рамках научно-исследовательского проекта космического аппарата «Фотон-М» №3 (полёт 14–26 сентября 2007 г.). Сформированы три группы животных: полётная группа (n=не указано), группа синхронного наземного эксперимента в макете полётной аппаратуры, группа виварийного контроля. Дополнительно проведён 12-суточный наземный эксперимент по антиортостатическому вывешиванию по методике Ильина-Новикова в модификации Морей-Холтон. Фрагменты фундального отдела желудка фиксировали в 10% нейтральном формалине, часть материала – в формалине с 0,5% цетилпиридинхлоридом. Использованы гистохимические (окраска толуидиновым синим, определение активности хлорацетатэстеразы) и иммуногистохимические методы (выявление триптазы, химазы, с-Kit/CD117). Раздельно изучали субпопуляцию мукозных тучных клеток слизистой оболочки и соединительнотканых тучных клеток других оболочек.

**Результаты.** У контрольных животных основная масса тучных клеток локализовалась в слизистой оболочке желудка, преимущественно в нижней трети желёз. Синхронный эксперимент показал увеличение частоты обнаружения тучных клеток в верхней трети слизистой оболочки и усиление процессов дегрануляции. После космического полёта наблюдалось снижение общего количества метакромаических и триптаза-позитивных тучных клеток в слизистой оболочке, но увеличение численности хлорацетатэстераза-позитивных, химаза-позитивных и CD117+ клеток. Усиливалась экспрессия химазы, особенно выраженная в слизистой оболочке. Активизировались процессы секреции с увеличением доли тучных клеток в состоянии экзоцитоза и лизиса гранул. При антиортостатическом вывешивании отмечено увеличение численности тучных клеток во всех слоях желудка, усиление экспрессии химазы и активизация механизмов секреции.

**Закключение.** Факторы космического полёта и моделирование эффектов невесомости вызывают значительные изменения в популяции тучных клеток желудка монгольских песчанок, проявляющиеся перераспределением субпопуляций, изменением протеазного профиля с усилением экспрессии химазы, активизацией секреторной активности и миграцией CD117-позитивных клеток-предшественников. Эти изменения отражают активное участие тучных клеток в адаптационных процессах пищеварительной системы к условиям космического полёта.

### Ключевые слова

космический полёт, невесомость, тучные клетки, желудок, монгольские песчанки, химаза, триптаза, CD117.

### Для цитирования

Бурцева А.С., Алексеева Н.Т., Кварацхелия А.Г., Кокорева Т.В., Бахмет А.А., Фетисов С.О. Морфофункциональные особенности тучных клеток в органах пищеварительной системы монгольских песчанок после космического полёта. *Морфологические ведомости.* 2025;33(4):983. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33\(4\).983](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33(4).983)

Статья поступила в редакцию 15 ноября 2025  
Статья принята к публикации 15 декабря 2025

## MORPHOFUNCTIONAL FEATURES OF MAST CELLS IN THE DIGESTIVE SYSTEM ORGANS OF MONGOLIAN GERBILS AFTER SPACE FLIGHT

<sup>1</sup>Burtseva AS, <sup>1</sup>Alekseeva NT, <sup>1</sup>Kvaratskheliya AG, <sup>2</sup>Kokoreva TV,  
<sup>3</sup>Bakhmet AA, <sup>1</sup>Fetisov SO

<sup>1</sup>N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia; <sup>2</sup>Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia; <sup>3</sup>N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia, e-mail: [markovii2601@yandex.ru](mailto:markovii2601@yandex.ru)

### Summary

**Background.** The digestive system is one of the main systems ensuring vital activity of the organism. Assessment of structural and functional changes in the organs of this system is important for identifying compensatory-adaptive reactions during space flight. Mast cells play a key role in regulating local homeostasis and adaptive processes; however, their morphofunctional state under weightlessness remains insufficiently studied.

**Aim.** To study the morphofunctional features of mast cells in the digestive system organs of Mongolian gerbils after orbital flight.

**Materials and Methods.** The experiment was performed on male Mongolian gerbils *Meriones unguiculatus* as part of the Foton-M No. 3 spacecraft research project (flight September 14–26, 2007). Three groups of animals were formed: flight group, synchronous ground experiment group in flight equipment mockup, and vivarium control group. Additionally, a 12-day ground experiment with antiorthostatic suspension using the Ilyin-Novikov method in the Morey-Holton modification was conducted. Fragments of the fundal stomach were fixed in 10% neutral formalin, with some material fixed in formalin containing 0.5% cetylpyridinium chloride. Histochemical (toluidine blue staining, chloroacetate esterase activity determination) and immunohistochemical methods (detection of tryptase, chymase, c-Kit/CD117) were used. Mucosal and connective tissue mast cell subpopulations were studied separately.

**Results.** In control animals, the main mass of mast cells was localized in the gastric mucosa, predominantly in the lower third of the glands. The synchronous experiment showed increased frequency of mast cell detection in the upper third of the mucosa and enhanced degranulation processes. After space flight, a decrease in the total number of metachromatic and tryptase-positive mast cells in the mucosa was observed, but an increase in chloroacetate esterase-positive, chymase-positive, and CD117+ cells occurred. Chymase expression was enhanced, particularly pronounced in the mucosa. Secretory processes were activated with an increase in the proportion of mast cells in the state of exocytosis and granule lysis. During antiorthostatic suspension, an increase in mast cell numbers in all stomach layers, enhanced chymase expression, and activation of secretory mechanisms were noted.

**Conclusion.** Space flight factors and simulation of weightlessness effects cause significant changes in the mast cell population of Mongolian gerbil stomach, manifested by subpopulation redistribution, changes in protease profile with enhanced chymase expression, activation of secretory activity, and migration of CD117-positive progenitor cells. These changes reflect active participation of mast cells in adaptive processes of the digestive system to space flight conditions.

### Keywords

space flight, weightlessness, mast cells, stomach, Mongolian gerbils, chymase, tryptase, CD117.

### For the citation

Burtseva AS, Alekseeva NT, Kvaratskheliya AG, Kokoreva TV, Bakhmet AA, Fetisov SO. Morphofunctional features of mast cells in the digestive system organs of Mongolian gerbils after space flight. *Morfologicheskie Vedomosti – Morphological newsletter*. 2025;33(4):983. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33\(4\).983](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33(4).983)

Article received 15 November 2025  
Article accepted 15 December 2025

### ВВЕДЕНИЕ

Увеличение продолжительности орбитальных полётов ставит перед современной пилотируемой космонавтикой серьёзные задачи по сохранению здоровья экипажей Международной космической станции при ведении профессиональ-

ной деятельности [1–3]. С точки зрения медико-биологических проблем космических полётов важнейшей задачей является изучение и понимание механизмов биологических эффектов невесомости и других факторов космического полёта, определяющих уровень адаптации орга-

низма к экстремальным условиям существования. Важное место в этом процессе занимает желудочно-кишечный тракт, что подтверждено многочисленными работами [4–6]. Эксперименты на животных в условиях космического полёта, а также при моделировании физиологических эффектов невесомости в наземных условиях, позволили сформулировать основополагающие механизмы развития адаптивных изменений во время орбитального полёта [7].

Интерес исследователей к биологии тучных клеток (ТК) постоянно растёт в связи с открытием новых механизмов их регуляторного влияния на состояние клеточного микроокружения как при развитии адаптивных процессов в норме, так и в генезе ряда патологических состояний. Учитывая потенциальные возможности ТК в регуляции местного гомеостаза, возрастает актуальность рассмотрения их популяции в качестве фармакологической мишени для совершенствования профилактических мероприятий по коррекции деятельности органов пищеварительного тракта космонавтов на борту орбитальных станций.

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** изучение морфофункциональных особенностей тучных клеток в органах пищеварительной системы монгольских песчанок после орбитального полёта.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена в рамках Федеральной космической программы России на 2005–2015 гг. и программы фундаментальных космических исследований Российской академии наук. Эксперимент на монгольских песчанках *Meriones uinguilatus* (самцах) был реализован в научно-исследовательском проекте космического аппарата «Фотон-М» №3, полёт которого состоялся с 14 по 26 сентября 2007 г. [8, 9]. Биоматериал получен в ФГБУН ГНЦ РФ Институте медико-биологических проблем РАН (Москва). Исследования, анализ и обработка материала выполнены в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Минздрава России на базе НИИ эксперимен-

тальной биологии и медицины и кафедры нормальной анатомии человека с 2007 по 2017 г. с соблюдением всех необходимых требований по гуманному обращению с животными в соответствии с решением Комиссии по биомедицинской этике ИМБП (протокол №206 от 07.10.2007 г.).

#### *Дизайн эксперимента*

Сформированы три группы животных для проведения эксперимента на борту КА «Фотон-М» №3:

- **Полётная группа** – животные, находившиеся в условиях невесомости.

- **Группа синхронного наземного эксперимента** – животные в макете полётной аппаратуры «Контур-Л» для моделирования некоторых условий космического эксперимента.

- **Группа виварийного контроля** – животные, содержащиеся в стандартных условиях вивария.

Дополнительно проведён наземный эксперимент по моделированию физиологических эффектов невесомости, в котором животные находились в течение 12 суток в условиях антиорто-статического вывешивания по методике Ильина-Новикова в модификации Морей-Холтон с соответствующей виварийной группой контроля.

#### *Гистологические и иммуногистохимические методы*

При исследовании органов пищеварительной системы фрагменты фундального отдела желудка фиксировали при комнатной температуре в 10% нейтральном формалине. Параллельно часть фрагментов органов фиксировали в 10% нейтральном формалине, содержащем катионный детергент цетилпиридинхлорид в концентрации 0,5% для лучшей сохранности гликозаминогликанов ТК.

Использованы следующие методы идентификации тучных клеток:

- Окрашивание толуидиновым синим.
- Определение ферментативной активности хлорацетатэстеразы.
- Иммуногистохимическое окрашивание триптазы.

- Иммуногистохимическое выявление химазы.
- Множественное иммуномаркирование при идентификации протеаз.
- Иммуногистохимическое окрашивание рецептора фактора роста тучных и стволовых клеток c-Kit (CD117).

В желудке отдельно изучали субпопуляцию мукозных (атипичных) ТК, локализованных в собственной пластинке слизистой оболочки, и субпопуляцию соединительнотканых (типичных) ТК, расположенных в интерстиции других оболочек.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### *Виварийная контрольная группа*

Анализ плотности распределения тучных клеток в желудке монгольских песчанок контрольной группы показал различия в зависимости от способа выявления (табл. 1). Основная масса ТК находилась в слизистой оболочке, причём в два раза меньше ТК было выявлено в подслизистой, мышечной и серозной оболочках. Большинство ТК располагалось преимущественно в нижней трети желёз желудка или вблизи

поверхностного слоя слизистой оболочки. Реже ТК находились в центральной зоне слизистой оболочки. ТК были также обнаружены в зонах регенерации желёз желудка, прилегающих к базальным мембранам glanduloцитов.

В слизистой оболочке доминировали метакромазные и триптаза-положительные ТК, в то время как в других оболочках преобладали хлорацетатэстераза-положительные ТК. Некоторые ТК наблюдались внутри эндомизия мышечного слоя, приобретая вытянутую форму, соответствующую ограниченному пространству микросреды гладкой мускулатуры. Значительное количество ТК соединительнотканного компонента подслизистой и мышечной оболочек содержали химазу (рис. 1).

Анализ секреторной активности ТК методом окраски толуидиновым синим показал, что около половины всех ТК в стенке желудка находились в недегранулированном состоянии (рис. 2). Большинство ТК характеризовалось гамма-метахромазией, что указывает на высокие уровни сульфатирования продуктов биосинтеза, преимущественно гепарина.

**Таблица 1.** Характеристика популяции тучных клеток желудка монгольских песчанок (на поле зрения), Mean [Q5; Q95]

Группа животных	Субпопуляция	Методика идентификации ТК				
		Мета-хромазия	Хлорацетил эстераза	Триптаза	Химаза	CD117
<b>Эксперимент «Роденция»</b>						
Виварный контроль	МТК	5,6 [5,1; 6,2]	1,1 [1,0; 1,2]	4,4 [4,1; 4,7]	Единичные	1,8 [1,6; 2,1]
	СТТК	2,6 [2,3; 2,9]	2,3 [2,1; 2,5]	1,5 [1,3; 1,7]	1,1 [0,9; 1,3]	0,8 [0,7; 0,9]
Синхронный эксперимент	МТК	6,4 [6,0; 6,8] $p_1 > 0,05$	1,2 [0,9; 1,5] $p_1 > 0,05$	4,3 [4,0; 4,6] $p_1 > 0,05$	Единичные	2,2 [1,9; 2,5] $p_1 > 0,05$
	СТТК	2,5 [2,3; 2,7] $p_1 > 0,05$	2,4 [2,2; 2,6] $p_1 > 0,05$	1,4 [1,3; 1,5] $p_1 > 0,05$	1,3 [1,2; 1,4] $p_1 > 0,05$	0,9 [0,8; 1,1] $p_1 > 0,05$
Космический полет	МТК	2,8 [2,5; 3,1] $p_1 < 0,01; p_2 < 0,01$	1,8 [1,6; 2,0] $p_1 < 0,01; p_2 < 0,01$	2,6 [2,4; 2,8] $p_1 < 0,01; p_2 < 0,01$	1,2 [1,1; 1,3] $p_1 < 0,01; p_2 < 0,01$	2,4 [2,1; 2,7] $p_1 < 0,01$
	СТТК	1,3 [1,2; 1,4] $p_1 < 0,01; p_2 < 0,01$	1,1 [1,0; 1,2] $p_1 < 0,01; p_2 < 0,01$	1,4 [1,2; 1,6] $p_1 > 0,05; p_2 > 0,05$	1,5 [1,4; 1,6] $p_1 < 0,01; p_2 < 0,01$	1,4 [1,2; 1,6] $p_1 < 0,01; p_2 < 0,01$
<b>Моделирование физиологических эффектов невесомости</b>						
Виварный контроль	МТК	5,2 [4,6; 5,8]	1,3 [1,2; 1,4]	4,1 [3,4; 4,8]	Единичные	1,5 [1,3; 1,7]
	СТТК	2,7 [2,4; 3,0]	2,5 [2,3; 2,7]	1,4 [1,3; 1,5]	1,2 [1,1; 1,3]	0,9 [0,8; 1,1]
Антиортостатическое вывешивание	МТК	7,3 [6,9; 7,7] $p_1 < 0,01$	2,2 [2,1; 2,3] $p_1 < 0,01$	4,8 [4,4; 5,2] $p_1 > 0,05$	0,3 [0,2; 0,4] $p_1 < 0,01$	2,6 [2,3; 2,9] $p_1 < 0,01$
	СТТК	3,4 [3,2; 3,6] $p_1 < 0,01$	2,3 [2,1; 2,5] $p_1 > 0,05$	1,7 [1,5; 1,9] $p_1 > 0,05$	1,4 [1,3; 1,5] $p_1 > 0,05$	1,5 [1,3; 1,7] $p_1 < 0,01$

Условные обозначения и сокращения: МТК – мукозная субпопуляция тучных клеток слизистой оболочки; СТТК – соединительнотканная субпопуляция тучных клеток, локализованная в подслизистой, мышечной и серозной оболочках;  $p_1$  – по сравнению с виварным контролем,  $p_2$  – по сравнению с синхронным экспериментом.

### **Синхронный эксперимент**

Синхронный эксперимент продемонстрировал изменения пространственного расположения ТК в желудке, выразившиеся в увеличении частоты обнаружения ТК в верхней трети слизистой оболочки. Наблюдалось варьирование размеров цитоплазмы ТК: присутствовали как небольшие, так и более крупные клетки.

Количество CD117+ ТК в ходе синхронного эксперимента оставалось практически неизменным, демонстрируя лишь слабую тенденцию к увеличению (табл. 1). Профиль экспрессии протеаз ТК стенок желудка также существенно не изменился.

В рамках эксперимента заметно усилились процессы высвобождения биоактивных веществ, что отразилось снижением доли недегранулированных ТК в слизистой оболочке и увеличением числа клеток, находящихся в стадии активного экзоцитоза и распада гранул (рис. 4). Увеличилось образование множественных кластеров из ТК, представленных клетками с разными уровнями морфологической зрелости и функциональной активности. Повысился процент клеток с гамма-метахромазией.

### **Космический полёт**

Космический полёт привёл к значительным изменениям в структуре популяции тучных клеток желудка. Наблюдалось уменьшение общего количества метахроматичных и триптаза-позитивных ТК как в слизистой оболочке, так и в других областях желудка (табл. 1). Основное скопление ТК сместилось в нижнюю треть слизистой оболочки, вблизи границы собственной и мышечной пластинок.

Одновременно увеличилась численность хлорацетатэстераза-позитивных ТК, химаза-позитивных ТК и клеток, маркируемых CD117+ (табл. 1). Важно отметить, что повышение численности ТК, содержащих хлорацетатэстеразу и химазу, проявлялось статистически значимо как в абсолютных показателях, так и в относительных, по сравнению с условиями синхронного эксперимента.

Изменение профилей экспрессии протеаз отражает увеличение продукции химазы после космического полёта, особенно ярко выраженное в слизистой оболочке (рис. 3). Необходимо отметить заметное повышение числа ТК, экспрессирующих одновременно химазу и триптазу.

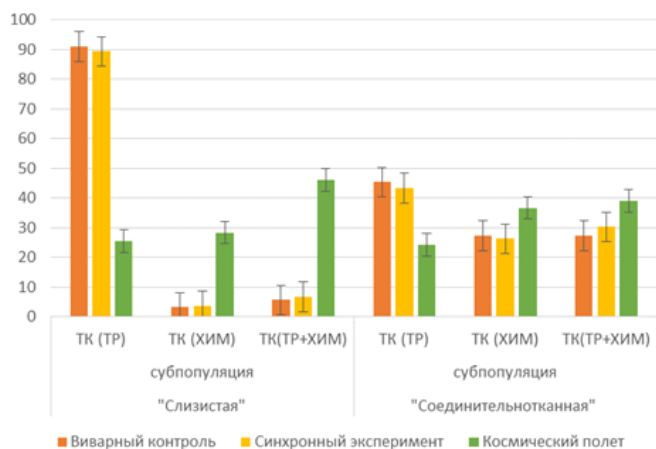
Активизация процессов секреции продуктов биосинтеза ТК по сравнению с уровнем животных синхронного эксперимента выражалась в сокращении численности недегранулированных форм и возрастании ТК в состоянии экзоцитоза и лизиса гранул. Усиливалась секреторная активность клеток с формированием макровезикул, которая обнаруживалась среди ТК соединительнотканной субпопуляции. Увеличивалось количество ТК с высокоразвитой гамма-метахромазией внутриклеточных структур.

### **Антиортостатическое вывешивание**

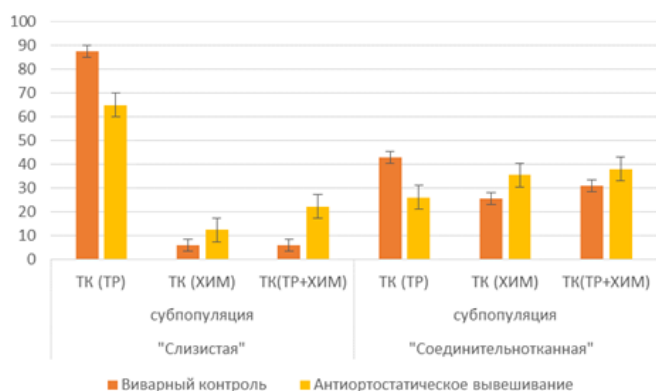
Антиортостатическое подвешивание приводило к увеличению численности определяемых путём окраски толудиновым синим ТК как в слизистой оболочке, так и в подслизистой основе желудка по сравнению с животными, находящимися в обычных лабораторных условиях. Преобладающее большинство ТК характеризовалось яркой гамма-метахромазией. Часто регистрировались случаи совместного выделения содержимого гранул несколькими ТК одновременно.

Увеличивалось количество клеток, позитивных по хлорацетатэстеразе, в слизистой оболочке по сравнению с контролем (табл. 1). Возрастала численность ТК, содержащих химазу, в слизистой оболочке. Увеличение касалось также количества CD117+ ТК как в мукозной, так и в соединительнотканной субпопуляциях.

Протеазный анализ подтвердил усиление экспрессии химазы в обеих основных группах ТК – как в мукозной, так и в соединительнотканной субпопуляции (рис. 3). Особенно резкое увеличение концентрации химазы отмечено в собственной пластинке слизистой оболочки. Параллельно снизилась численность ТК, сохраняющих интактные гранулы (рис. 4).

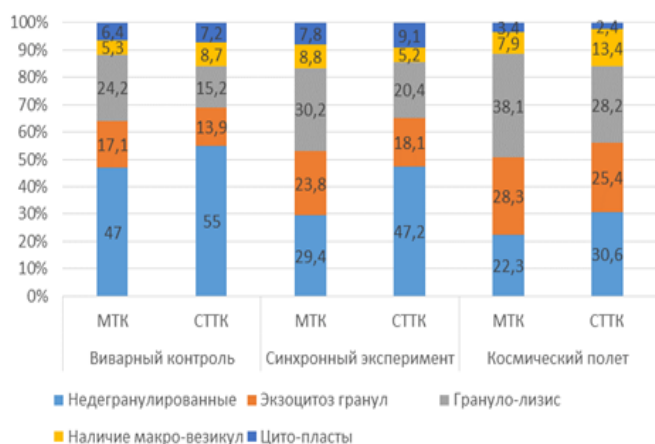


**Рис. 1.** Протеазный профиль тучных клеток желудка монгольских песчанок, эксперимент «Роденция». В долях от 100%, по данным – множественное иммуномаркирование, флуоресцентная микроскопия. ТК (ТР) – триптаза-позитивные тучные клетки; ТК (ХИМ) – химаза-позитивные тучные клетки; ТК (ТР+ХИМ) – тучные клетки с одновременным содержанием триптазы и химазы

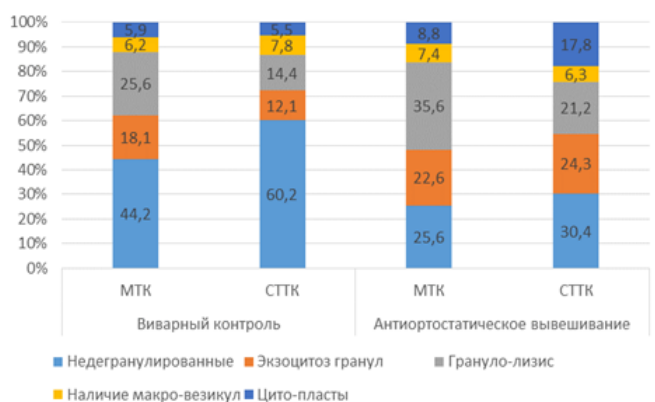


**Рис. 3.** Протеазный профиль тучных клеток желудка монгольских песчанок при моделировании физиологических эффектов невесомости. В долях от 100%, по данным – множественное иммуномаркирование, флуоресцентная микроскопия. ТК (ТР) – триптаза-позитивные тучные клетки; ТК (ХИМ) – химаза-позитивные тучные клетки; ТК (ТР+ХИМ) – тучные клетки с одновременным содержанием триптазы и химазы

Наиболее выраженные изменения механизмов секреции в слизистой оболочке желудка после антигравитационного воздействия заключались в усиленном распаде гранул (лизисе), по сравнению с животными контрольной группы. В остальных частях стенки желудка активация затрагивала оба ключевых механизма: разрушение гранул и экзоцитоз.



**Рис. 2.** Соотношение долей (в %) тучных клеток различного морфофункционального статуса в желудке монгольских песчанок, эксперимент «Роденция». МТК – мукозная субпопуляция тучных клеток слизистой оболочки; СТТК – соединительнотканная субпопуляция тучных клеток, локализованная в подслизистой, мышечной и серозной оболочках



**Рис. 4.** Соотношение долей (в %) тучных клеток различного морфофункционального статуса в желудке монгольских песчанок при моделировании физиологических эффектов невесомости. МТК – мукозная субпопуляция тучных клеток слизистой оболочки; СТТК – соединительнотканная субпопуляция тучных клеток, локализованная в подслизистой, мышечной и серозной оболочках

## ОБСУЖДЕНИЕ

Переходящие изменения стромального компонента желудка вследствие факторов космического полёта позволяют интерпретировать их как реакцию на комплекс адаптационных изменений, вызванных воздействием невесомости, с одной стороны, и проявление деструктивных

последствий длительного нахождения в необычных условиях – с другой [10].

Физиологическое воздействие факторов космического полёта и условия моделирования эффекта невесомости привели к следующим изменениям: несмотря на отсутствие роста абсолютного числа CD117-позитивных ТК на исследуемом участке, их относительный вклад в общую популяцию ТК увеличился статистически значимо. Это явление служит доказательством миграции ТК из кровеносных сосудов в подлежащую ткань органов ЖКТ под действием неблагоприятных факторов и невесомости.

Полученные данные свидетельствуют о продолжающейся активной репопуляции ТК в организме, пребывающем в условиях космического полёта. Вероятно, такая реакция обусловлена необходимостью восполнения запасов функциональных возможностей ТК, используемых организмом в стрессовых ситуациях.

Интересно отметить, что изменение численности CD117-позитивных ТК соответствует динамике численности клеток, положительных по хлорацетатэстеразе, что предполагает возможное накопление молодых клеток ТК в органах пищеварительной системы после завершения космического путешествия.

Вероятно, причиной подобного феномена стало зафиксированное нами увеличение экспрессии химазы, обусловленное образованием

активной растворимой формы SCF (фактора стволовых клеток). Это вещество усиливает хемотрактантные свойства, способствует пролиферации и дифференцировке ТК [11].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

CD117 играет ключевую роль в стимулировании пролиферации клеток, повышении устойчивости к апоптозу, а также в процессах миграции и адгезии клеток. Исследование экспрессии CD117 у ТК выявляет его преимущественное присутствие в незрелых ТК, ещё не завершивших дифференцировку согласно особенностям своего микроокружения. CD117-позитивные клетки представляют собой свежие мигранты из кровотока, только начинающие колонизировать ткани конкретного органа. Такие клетки сохраняют потенциал для дальнейшей дифференцировки и приобретения свойств, соответствующих требованиям местной среды.

После космического полёта и наземного моделирования физиологических эффектов невесомости происходило изменение соотношения протеаз в тучных клетках органов пищеварительной системы монгольских песчанок, обусловленное усилением экспрессии химазы. Исследование показало тесную вовлечённость ТК органов желудочно-кишечного тракта в процессы адаптации к факторам космического полёта.

### Литература

#### References

- 1 Lebedeva MA, Medvedeva YS, Baranov MV i dr. Dolgovremennaya dinamika funktsional'nogo sostoyaniya organizma kryz posle sochetannogo vozdeistviya faktorov kosmicheskogo poleta v nazemnom eksperimente. *Patogenez*. 2024;22(1):56-65. In Russian
- 2 Popova EV, Kutnik IV, Kobatov AI i dr. Snizhenie posledstviy vliyaniya mutagennykh faktorov na organizm cheloveka v usloviyakh dlitel'nogo kosmicheskogo poleta. *Pilotiruemye polety v kosmos*. 2019;1(30):96-113. In Russian
- 3 Gurchenkova MA. Faktory kosmicheskogo poleta i rol' nutritsevtikov v profilaktike ikh negativnogo vliyaniya na organizm kosmonavtov. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2024;113-5:18-30. In Russian
- 4 Atyakshin DA, Burtseva AS, Alekseeva NT. Triptaza kak polifunktsional'nyi komponent sekretoma tuchnykh kletok. *Zhurnal anatomii i gistopatologii*. 2017;6(1):121-132. In Russian
- 5 Afonin BV. Gemodinamicheskii mekhanizm, opredelyayushchii vozniknovenie gipersekretornogo sostoyaniya zheludka v usloviyakh mikrogravitatsii. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2013;477(4):10-11. In Russian
- 6 Afonin BV, Ermolenko AE, Inozemtsev SL. Funktsional'noe sostoyanie pecheni pri modelirovani modelirovani gemodinamicheskikh effektov nevesomosti v organizme cheloveka. *Fiziologiya cheloveka*. 2012;38(4):108-113. In Russian
- 7 Cromer WE, Zawieja DC. Acute exposure to space flight results in evidence of reduced lymph Transport, tissue fluid Shifts, and immune alterations in the rat gastrointestinal system. *Life Sciences in Space Research*. 2018;17:74-82

- 8 Il'in EA, Smirnov IA, Soldatov PE i dr. Eksperiment s mongol'skimi peschankami v polete kosmicheskogo apparata «Foton-MZ». *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2009;43(4);21-25. *In Russian*
- 9 Soldatov PE, Smirnov IA, Il'in EA i dr. Usloviya soderzhaniya i zhizneobespecheniya mongol'skikh peschanok v polete kosmicheskogo apparata «Foton-MZ». *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2009;43(5);12-18. *In Russian*
- 10 Atyakshin DA, Bykov EG i dr. Sostoyanie interstitsiya toshchei kishki mongol'skikh peschanok posle poleta na kosmicheskom apparate «Foton-M3». *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2012;46(3):8-13. *In Russian*
- 11 Su X, Wei CC, Machida N et al. Differential expression of angiotensin converting enzyme and chymase in dogs with chronic mitral regurgitation. *J. Mol. Cell Cardiol*. 1999;31:1033-1045
- 12 Gilfillan AM, Tkaczyk C. Integrated signalling pathways for mast-cell activation. *Nat Rev Immunol*. 2006;6(3):218-230. <https://doi.org/10.1038/nri1782>
- 13 Galli SJ, Borregaard N, Wynn TA. Phenotypic and functional plasticity of cells of innate immunity: macrophages, mast cells and neutrophils. *Nat Immunol*. 2011;12(11):1035-1044. <https://doi.org/10.1038/ni.2109>
- 14 Wernersson S, Pejler G. Mast cell secretory granules: armed for battle. *Nat Rev Immunol*. 2014;14(7):478-494. <https://doi.org/10.1038/nri3690>
- 15 Theoharides TC, Alysandratos KD, Angelidou A, et al. Mast cells and inflammation. *Biochim Biophys Acta*. 2012;1822(1):21-33. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2010.12.014>
- 16 da Silva EZ, Jamur MC, Oliver C. Mast cell function: a new vision of an old cell. *J Histochem Cytochem*. 2014;62(10):698-738. <https://doi.org/10.1369/0022155414545334>
- 17 Piliponsky AM, Gleich GJ, Nagler A, Bar I, Levi-Schaffer F. Non-IgE-dependent activation of human lung- and cord blood-derived mast cells is induced by eosinophil major basic protein and modulated by the membrane form of stem cell factor. *Blood*. 2003;101(5):1898-1904. <https://doi.org/10.1182/blood-2002-05-1488>
- 18 Schechter NM, Irani AM, Sprows JL, Abernethy J, Wintroub B, Schwartz LB. Identification of a cathepsin G-like proteinase in the MCTC type of human mast cell. *J Immunol*. 1990;145(8):2652-2661.
- 19 Raymond WW, Trivedi NN, Maurer M, Kitamura Y, Caughey GH. How immune peptidases change gene expression in allergic disease. *Adv Exp Med Biol*. 2011;716:186-204. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9533-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9533-9_11)
- 20 Harvima IT, Nilsson G. Mast cells as regulators of skin inflammation and immunity. *Acta Derm Venereol*. 2011;91(6):644-650. <https://doi.org/10.2340/00015555-1197>

Авторы заявляют об отсутствии каких-либо конфликтов интересов при планировании, выполнении, финансировании и использовании результатов настоящего исследования

The authors declare that they have no conflicts of interest in the planning, implementation, financing and use of the results of this study

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Бурцева Александра Станиславовна**, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры нормальной анатомии человека Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия;  
**e-mail:** burtseva-alex@rambler.ru

**Aleksandra S. Burtseva**, Candidate of Medical Sciences, Assistant of the Department of Normal Human Anatomy of the N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia;  
**e-mail:** burtseva-alex@rambler.ru

**Алексеева Наталия Тимофеевна**, профессор, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой нормальной анатомии человека Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия;  
**e-mail:** alexeevant@list.ru

**Nataliya T. Alekseeva**, Professor, Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Normal Human Anatomy of the N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia;  
**e-mail:** alexeevant@list.ru

**Кварацхелия Анна Гуладиевна**, доцент, кандидат биологических наук, доцент кафедры нормальной анатомии человека Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия;  
**e-mail:** anna\_kvar\_83@mail.ru

**Anna G. Kvaratskheliya**, Docent, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Human Anatomy of the N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia;  
**e-mail:** anna\_kvar\_83@mail.ru

**Кокорева Татьяна Владимировна**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры анатомии человека Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия;  
**e-mail:** burtseva-alex@rambler.ru

**Tat'yana V. Kokoreva**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Human Anatomy of the Patrice Lumumba Russian People's Friendship University, Moscow, Russia;  
**e-mail:** burtseva-alex@rambler.ru

**Бахмет Анастасия Анатольевна**, доцент, доктор медицинских наук, профессор кафедры анатомии человека института анатомии и морфологии имени академика Ю.М. Лопухина Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия;  
**e-mail:** burtseva-alex@rambler.ru

**Фетисов Сергей Олегович**, кандидат биологических наук, ассистент кафедры нормальной анатомии человека Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия;  
**e-mail:** fetisovbiol@yandex.ru

**Anastasiya A. Bakhmet**, Docent, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Human Anatomy of the Yu.M. Lopukhin Institute of Anatomy and Morphology of the N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;  
**e-mail:** burtseva-alex@rambler.ru

**Sergey O. Fetisov**, Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor of the Department of Normal Human Anatomy of the N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia;  
**e-mail:** fetisovbiol@yandex.ru