

## ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ БРЫЖЕЕЧНЫХ ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СМЕСИ ГАЗОВ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

С. В. Ключкова<sup>1</sup>, Н. Т. Алексеева<sup>2</sup>, А. Г. Кварацхелия<sup>2</sup>,  
К. А. Васянина<sup>1</sup>, Д. Б. Никитюк<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет  
им. И.М. Сеченова» Минздрава России, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко»  
Минздрава России, г. Воронеж, Россия

<sup>3</sup>ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии  
и безопасности пищи», г. Москва, Россия

*Цель исследования:* изучение строения брыжеечных лимфатических узлов у мышей после длительного воздействия смеси ацетальдегида, ацетона и этанола.

*Материал и методы.* Изучали брыжеечные лимфатические узлы 80 половозрелых мышей линии F1 (СВА×С57BL6), подвергнутых ингаляционному воздействию смеси ацетона, ацетальдегида и этанола в течение 8, 22, 36 и 70 суток. Восстановительный период составил 14, 28, 64 и 90 суток. Микропрепараты окрашивали гематоксилином–эозином и по Ван Гизону. Статистическая обработка включала вычисление среднеарифметических значений, их ошибок. Достоверность различий определяли методом доверительных интервалов.

*Результаты.* Количество лимфоидных узелков на срезе лимфатического узла к 70-м суткам было в 2.06 раза меньше, чем в контроле. Происходило постепенное уменьшение длины, ширины, площади лимфоидных узелков как с центром, так и без центра размножения. Аналогичные параметры уменьшаются и для самих центров размножения лимфоидных узелков. С 22-х по 70-е сутки эксперимента толщина капсулы брыжеечных лимфатических узлов увеличивается в 1.26 раза, а трабекул – в 1.53 раза по сравнению с контролем; толщина мякотных тяжей уменьшается. На 60-е сутки размеры лимфоидных бляшек, количество и размеры лимфоидных узелков, доля лимфоидных узелков с центром размножения, абсолютное число клеток лимфоидного ряда в лимфоидной ткани брыжеечных лимфатических узлов соответствует контролю.

*Выводы.* С 22-х и по 70-е сутки ингаляционного газового воздействия происходит угнетение иммуннокомпетентной функции брыжеечных лимфоузлов за счет уменьшения доли лимфоидной ткани и увеличения соединительнотканного компонента. После окончания воздействия повреждающих факторов восстановительные процессы в лимфатических узлах проявляются лишь на 60-е сутки.

*Ключевые слова:* иммунные органы, воздействие факторов космического полета, брыжеечные лимфатические узлы, ацетон, ацетальдегид, этанол.

© S. V. Klochkova<sup>1</sup>, N. T. Alexeeva<sup>2</sup>, A. G. Kvaratskheliya<sup>2</sup>, K. A. Vasyanina<sup>1</sup>, D. B. Nikityuk<sup>3</sup>, 2017

<sup>1</sup>First I.M. Sechenov Moscow State Medical University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Voronezh N. N. Burdenko State Medical University, Voronezh, Russia

<sup>3</sup>The Federal Research Centre of Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

Features of Mesenteric Lymph Nodes Structure Exposed to a Gas Mixture in Space Flight Conditions

*The objective* is the study of mesenteric lymph nodes structural organization in mice after prolonged exposure to a mixture of acetaldehyde, acetone and ethanol.

*Material and methods.* The research object is the mesenteric lymph nodes, obtained from 80 adult F1 (CBA×C57BL6) mice, subjected to the inhalation of acetone, acetaldehyde and ethanol mixture with a duration of 8, 22, 36 and 70 days. The recovery period was 14, 28, 64 and 90 days. Histological sections were stained by hematoxylin and eosin and by Van-Gizon method. Statistical processing included calculation of arithmetic mean values and their errors. The significance of differences was determined by the method of confidence intervals.

*Results.* The number of lymphoid nodules in the lymph node cut by the 70<sup>th</sup> day was 2.06 times less than in the control. There was a gradual decrease in the length, width, area of the lymphoid nodules, both with the center, and without a germination center. Similar parameters decrease for the germination centers of lymphoid nodules. From the 22<sup>nd</sup> to the 70<sup>th</sup> day of the experiment the thickness of mesenteric lymph nodes capsule increases by 1.26 times, and the trabeculae by 1.53 times compared with the control, the thickness of the meat strands decreases. On the 60<sup>th</sup> day the size of lymphoid plaques, the number and size of lymphoid nodules, the proportion of lymphoid nodules with the center of reproduction, the absolute number of lymphoid cells in the lymphoid tissue of mesenteric lymph nodes corresponds to control.

*Conclusion.* From the 22<sup>nd</sup> to the 70<sup>th</sup> day of the inhalation gas exposure, there is a depression immunocompetent function of the mesenteric lymph nodes by decreasing the proportion of lymphoid tissue and increasing the connective tissue component. After the end of the impact of damaging factors, the restoration processes of the lymph nodes are manifested only on the 60<sup>th</sup> day.

*Key words:* immune organs, the impact of space flight factors, mesenteric lymph nodes, acetone, acetaldehyde, ethanol.

## Введение

При длительных полетах в космических аппаратах космонавты находятся в условиях сочетанного воздействия ряда факторов [16], значимым из которых признается влияние различных газов, главным образом смеси ацетальдегида, ацетона и этанола [2, 6, 13]. Изучение влияния воздействия этих химических субстанций актуально не только для радиационной медицины и радиобиологии, но и имеет явный прикладной характер [5, 14, 15]. Особенно показательны изменения органов лимфоидной системы, динамично и лабильно реагирующей на любые внешние воздействия, в особенности – неадекватные нормальной жизнедеятельности, что подтверждено многочисленными научными данными [8, 11, 12] и вошло в материал учебников по морфологическим дисциплинам [1, 7]. Экспериментально-морфологические исследования представляются особо значимыми для детализации указанных положений.

Целью исследования явилось изучение структурной организации брыжеечных лимфатических узлов мышей после длительного воздействия смеси ацетальдегида, ацетона и этанола в низких концентрациях (что типично для условий космического полета) и в разные сроки после окончания этого воздействия.

## Материал и методы исследования

Исследованы брыжеечные лимфатические узлы, полученные от 80 половозрелых мышей линии F1 (СВА×С57BL6), массой 20–23 г, подвергнутых ингаляционному воздействию смеси ацетона, ацетальдегида и этанола в условиях моделирования космического полета. Концентрация веществ в газовой смеси составила 0.67–1.4 мг/м<sup>3</sup> для ацетона, 0.86–1.75 мг/м<sup>3</sup> – для ацетальдегида, и 3.78–9.91 мг/м<sup>3</sup> – для этанола и не превышала ПДК применительно к космическим пилотируемым аппаратам. Выбор состава и концентрации указанных химических соединений для экспериментальной смеси определялся приоритетным перечнем химических веществ, которые вносят основной вклад в загрязнение воздушной среды пилотируемых космических аппаратов [4]. Длительность непрерывного воздействия смеси составила 8, 22, 36 и 70 сут (по 10 мышей на каждый срок наблюдения, всего – 40). Дозирование и поддержание заданных концентраций ацетона, ацетальдегида и этанола в воздухе экспериментальной камеры осуществляли методом диффузии через полимерные материалы. Концентрацию веществ определяли один раз в сутки. Восстановительный период составил 14, 28, 64 и 90 сут (по 10 мышей в каждой группе). Контрольные особи, как и животные на всех этапах восстановительного периода находились в условиях

вивария в обычной атмосфере. Мышей контрольной группы выводили из эксперимента после окончания восстановительного периода (через 160 сут с начала эксперимента). Продольные гистологические срезы окрашивали гематоксилином–эозином и по Ван Гизону. Статистическая обработка включала вычисление среднеарифметических значений, их ошибок. Достоверность различий определяли методом доверительных интервалов.

## Результаты и их обсуждение

Брыжеечные лимфатические узлы у мышей линии F1 (СВА×57BL6) в норме, в количестве 2–4 располагаются в области корня брыжейки тонкой кишки; имеют округлую, овоидную и просовидную формы. На поперечном срезе узла насчитывается в среднем 15 лимфоидных узелков (75–77% из них с центром размножения), длиной 84–89 мкм, шириной 54–57 мкм. Абсолютное количество клеток лимфоидного ряда (на площади среза 880 мкм<sup>2</sup>) варьирует от 25 в мякотных тяжках, до 30 – в диффузной лимфоидной ткани и 36 – в мантии лимфоидных узелков с центром размножения. Строение брыжеечных лимфатических узлов у мышей в целом соответствует общему плану структурной организации лимфатических узлов [11]. По данным [10], у мышей в составе капсулы и трабекул этих лимфатических узлов выявляются преимущественно коллагеновые волокна, эластические волокна (окраска по Вейгерту) немногочисленны, встречаются отдельные миоциты, преимущественно в области ворот лимфатического узла. В строме брыжеечных лимфатических узлов, в просвете лимфатических синусов, в составе лимфоидных узелков всегда выявляются ретикулярные волокна (окраска по Гримелиусу). Доказано, что у лимфатических узлов этой группы корковое вещество (паракортикальная лимфоидная ткань) является В-зоной, а паракортикальная область (граница между корковым и мозговым веществом) – Т-зоной.

Лимфоидная ткань этих образований представлена качественно однотипными клетками. Лимфоциты составляют 70–75% всех клеток лимфоидного ряда, ретикулярные клетки – 13–16%. Также определяются плазмоциты, макрофаги, клетки в процессе митоза, дегенеративно измененные клетки. В лимфоидной ткани всегда обнаруживаются типичные межклеточные ассоциации: расположение лимфоцитов рядами, ретикулярно-лимфоцитарные, макрофагально-лимфоцитарные и плазмочитарно-лимфоцитарные комплексы (ретикулярная клетка, макрофаг, плазмоцит в окружении лимфоцитов). Аналогичные межклеточные комплексы в составе лимфоидной ткани в стенках полых внутренних органов и в лимфатических узлах были

описаны и ранее [11]. По мнению М. Р. Сапина, Д. Б. Никитюка (2000), кооперация клеток лимфоидного ряда может обеспечивать передачу информации между ними, необходимую для формирования иммунного ответа. Все размерные структурные показатели брыжеечных лимфатических узлов у мышей линии F1 (СВА×57BL6) в норме отличаются индивидуальной изменчивостью. Ее размах (амплитуда вариационного ряда фактически всех морфометрических показателей), однако, относительно небольшой. Толщина капсулы брыжеечных лимфатических узлов мышей в норме индивидуально варьирует от 13.2 до 17.2 мкм, толщина мякотного тяжа – от 18.8 до 22.6 мкм. Индивидуальная вариабельность массы мышечной изученной линии в норме тоже относительно невелика (20.4–23.3 г). Обычно индивидуальные минимальные и максимальные размерно-количественные показатели строения периферических органов иммунной системы отличаются в 2–3, а иногда и в 3–4 раза [8]. Видимо, относительно небольшой размах индивидуальной изменчивости всех изученных нами параметров строения групповых лимфоидных узелков и брыжеечных лимфатических узлов у мышей в норме объясняется однородностью изученной группы (одинаковые пол, возраст, условия содержания, включая стандартный рацион и др.).

Известно, что все органы иммунной системы лабильны и динамичны; их структура изменяется под действием самых разных факторов внешней среды [8]. Изолированное длительное ингаляционное воздействие смеси данных газов в концентрациях на уровне ПДК (для пилотируемых космических аппаратов) сопровождается повреждением хромосомного аппарата клеток костного мозга (2.75%), преимущественно по типу фрагментов (81.2%), снижением энергопродукции и восстановительного потенциала у эритроцитов, свидетельствуя об инициации мембраноповреждающего эффекта. Токсичность воздействия данной газовой смеси подтверждается лейкопенией в периферической крови мышей, нарастающей по мере увеличения длительности воздействия [9]. По данным проведенного исследования, при воздействии газовой смеси (паров ацетона, ацетальдегида, этанола) достоверные структурные изменения брыжеечных лимфатических узлов у мышей выявляются уже на 22-е сут и нарастают максимально к 70-м сут эксперимента.

Начиная с 22-х сут эксперимента, на микропрепаратах лимфатического узла местами определяются диапедезные кровоизлияния, стаз и полнокровие сосудов. Общее количество лимфоидных узелков на поперечном срезе брыжеечного лимфатического узла у мышечных экспериментальных групп на 22-е сутки воздействия в 1.75 раза, на 36-е сут – в

1.79 раза ( $p < 0.05$ ), на 70-е сут – в 2.06 раза меньше контроля ( $p < 0.05$ ) (табл. 1).

Доля лимфоидных узелков с центром размножения (относительно общего содержания лимфоидных узелков на срезе лимфатического узла) на 22-е сут ингаляционного газового воздействия в 1.24 раза ( $p < 0.05$ ), на 36-е сут – в 1.26 раза ( $p < 0.05$ ), а на 70-е сут – в 1.37 раза ( $p < 0.05$ ) меньше контроля. С 22-х по 70-е сутки ингаляционного газового воздействия происходит постепенное уменьшение длины, ширины, площади лимфоидных узелков с центром размножения, без центра размножения. Значения аналогичных параметров уменьшаются и в самих центрах размножения лимфоидных узелков брыжеечных лимфатических узлов. Наблюдается постепенное увеличение толщины их капсулы и трабекул (табл. 2).

На 22-е сут эксперимента толщина капсулы брыжеечных лимфатических узлов у мышечной экспериментальной группы в 1.15 раза ( $p > 0.05$ ), на 36-е сут – в 1.20 раза ( $p < 0.05$ ), на 70-е сутки – в 1.26 раза ( $p < 0.05$ ) больше контроля. Толщина трабекул в лимфатических узлах этой группы на 22-е сут эксперимента в 1.39 раза ( $p < 0.05$ ), на 36-е сутки – в 1.54 раза ( $p < 0.05$ ), на 70-е сутки – в 1.53 раза ( $p < 0.05$ ) превышает контроль. Начиная с 22-х суток, в результате газовых воздействий наблюдается расширение лимфатических синусов брыжеечных лимфатических узлов. Диаметр лимфатического синуса на 22-е сутки эксперимента в 1.44 раза ( $p < 0.05$ ), на 36-е сутки – в 1.71 раза ( $p < 0.05$ ) и на 70-е сутки – в 2.03 раза ( $p < 0.05$ ) превышает контроль. Напротив, на протяжении эксперимента, начиная с 22-х сут, толщина мякотных тяжей брыжеечных лимфатических узлов уменьшается. На 22-е сут опыта этот показатель в 1.37 раза ( $p < 0.05$ ), на 36-е сут – в 1.54 раза ( $p < 0.05$ ), а на 70-е сут – в 1.57 раза уступает контролю ( $p < 0.05$ ).

В результате воздействия смесью паров ацетона, ацетальдегида и этанола, у мышечной, начиная с 22-х сут эксперимента, наблюдается уменьшение абсолютного количества клеток лимфоидного ряда в составе различных структурных компонентов брыжеечных лимфатических узлов. Число этих клеток на площади среза в 880 мкм<sup>2</sup> в составе диффузной лимфоидной ткани коркового вещества лимфатического узла на 22-е сут опыта в 1.14 раза ( $26.4 \pm 0.75$  клетки;  $p > 0.05$ ), на 36-е сут – в 1.33 раза ( $22.0 \pm 0.54$  клетки;  $p < 0.05$ ), на 70-е сут – в 1.62 раза ( $18.5 \pm 0.54$  клетки;  $p < 0.05$ ) уступает контролю. Количество клеток лимфоидного ряда в лимфоидных узелках без центра размножения, по нашим данным, на 22-е сут эксперимента в 1.35 раза ( $26.0 \pm 0.43$  клетки;  $p < 0.05$ ), на 36-е сут – в 1.30 раза ( $25.1 \pm 0.54$  клетки;  $p < 0.05$ ), на 70-е сут – в 1.53 раза ( $22.2 \pm 0.54$  клетки;  $p < 0.05$ ) меньше

Таблица 1

**Количество и размеры лимфоидных узелков на поперечном срезе брыжеечного лимфатического узла у мышей в разные сроки воздействия газовой смесью, в % (X±Sx; min-max)**

Параметр (размерность)	Группа наблюдений	Срок воздействий (сутки)			
		8-е	22-е	36-е	70-е
Количество ЛУ	эксперимент	14.8±0.76; 10-17	8.5±0.43; 6-10	8.5±0.43; 5-9	7.2±0.43; 4-8
	контроль	15.4±0.54; 12-17	14.9±0.65; 11-17	15.2±0.65; 12-18	14.8±0.86; 10-18
Длина ЛУ с центром размножения (мкм)	эксперимент	84.1±0.93; 74.5-83.2	66.6±2.16; 60.2-80.2	52.6±1.94; 40.2-58.2	52.0±0.65; 47.2-53.4
	контроль	84.1±1.33; 80.0-92.4	86.5±1.39; 79.8-92.7	85.4±1.93; 76.6-94.5	85.2±2.32; 74.5-96.0
Ширина ЛУ с центром размножения (мкм)	эксперимент	74.0±1.08; 73.0-83.3	55.0±1.40; 50.0-63.2	54.4±0.52; 51.3-56.2	46.8±0.67; 45.2-51.4
	контроль	78.9±1.30; 72.3-84.4	78.3±1.68; 70.1-85.7	75.2±2.28; 67.2-88.4	75.0±2.08; 66.0-85.2
Площадь ЛУ с центром размножения на срезе (мм <sup>2</sup> ×10 <sup>-4</sup> )	эксперимент	62.4±0.90; 59.2-67.4	57.5±0.68; 58.4-64.7	53.4±0.67; 50.0-56.2	50.2±0.61; 47.5-53.2
	контроль	63.7±0.86; 59.2-67.4	63.5±1.11; 58.4-68.7	63.4±1.08; 56.0-66.2	62.2±0.93; 57.5-66.2
Относительное содержание ЛУ с центром размножения на срезе лимфатического узла*	эксперимент	72.8±1.80; 58.4-75.1	60.8±1.69; 59.0-74.7	59.5±1.96; 48.4-66.6	54.8±2.07; 47.0-66.2
	контроль	74.2±2.07; 68.0-87.2	75.3±1.82; 70.8-86.6	74.8±2.31; 65.6-87.2	75.0±1.92; 66.2-87.0
Длина центра размножения (мкм)	эксперимент	34.8±0.77; 28.8-36.0	23.2±1.46; 20.5-34.0	22.8±0.78; 20.3-27.6	20.4±0.52; 18.0-22.9
	контроль	34.2±0.70; 30.0-36.5	34.2±0.72; 30.0-36.7	34.2±0.65; 30.0-36.1	34.6±0.74; 30.0-36.9
Ширина центра размножения (мкм)	эксперимент	35.4±1.08; 29.2-39.0	21.5±0.90; 16.6-25.0	20.4±0.71; 17.2-23.8	18.5±0.67; 15.6-21.8
	контроль	36.4±0.99; 30.3-39.5	37.8±0.41; 34.7-38.5	37.6±0.71; 33.2-39.8	38.2±0.58; 34.0-39.4
Площадь центра размножения на срезе (мм <sup>2</sup> ×10 <sup>-4</sup> )	эксперимент	30.4±1.08; 24.2-34.0	22.5±0.47; 20.6-25.0	20.4±0.71; 17.2-23.8	18.5±0.67; 15.6-21.8
	контроль	32.6±0.80; 28.2-35.6	32.7±0.69; 28.4-34.8	34.5±1.00; 27.2-36.5	33.7±0.83; 28.1-35.8
Длина ЛУ без центра размножения (мкм)	эксперимент	74.9±1.38; 67.2-80.0	60.0±0.97; 55.0-64.1	54.2±0.86; 50.0-58.1	54.2±0.86; 50.0-58.1
	контроль	75.7±1.40; 69.2-82.0	77.4±1.29; 40.1-52.7	76.4±1.83; 72.0-89.0	77.4±1.94; 71.0-89.4
Ширина ЛУ без центра размножения (мкм)	эксперимент	63.0±1.73; 52.9-69.0	50.0±0.76; 45.1-52.1	48.2±1.15; 43.4-54.1	47.9±1.34; 40.6-53.0
	контроль	64.2±1.47; 56.3-70.0	63.7±1.73; 55.1-71.2	62.2±1.96; 54.0-72.2	63.0±1.76; 52.7-69.0
Площадь ЛУ на срезе (мм <sup>2</sup> ×10 <sup>-4</sup> )	эксперимент	53.0±0.96; 46.9-55.8	46.8±0.85; 42.0-49.3	43.5±1.01; 39.3-48.8	40.0±1.53; 34.0-48.2
	контроль	54.3±0.71; 50.0-56.6	54.1±0.54; 49.8-55.0	56.4±0.70; 49.7-56.2	55.1±0.87; 47.9-56.0

Примечание: ЛУ – лимфоидный узелок; \* – по отношению к общему числу ЛУ.

контроля. В центре размножения лимфоидных узелков данный показатель на 22-е сут опыта в 1.26 раза (20.0±0.43 клетки; p<0.05), на 36-е сут – в 1.80 раза (17.2±0.54 клетки; p<0.05), на 70-е сут – в 1.66 раза (15.0±0.43 клетки; p<0.05) менее контроля. Количество клеток лимфоидного ряда в мякотных тяжах, по нашим данным, на 22-е сут ингаляционного газового воздействия в 1.29 раза (20.1±0.43 клетки; p<0.05), на 36-е сут – в 1.50 раза (17.3±0.32 клетки; p<0.05) и на 70-е сут – в 1.63 раза (16.0±0.54 клетки; p<0.05) уступает контролю. Процентное содержание лимфоцитов при данном виде воздействий также прогрессивно уменьшается с 22-х сут опыта. Этот

показатель составляет на 22-е сут опыта 65–72%, на 36-е сут – 64–70%, на 70-е сут – 64–68% общего количества клеток лимфоидного ряда (с 22-х сут он достоверно меньше контроля). Лимфобласты и клетки с картиной митоза с 22-х сут в диффузной лимфоидной ткани и лимфоидных узелках брыжеечных лимфатических узлов отсутствуют (либо единичные). Одновременно нарастает содержание дегенеративно измененных клеток лимфоидного ряда – на 22-е сут эксперимента они составляют 5.8–6.7%, на 36-е сут – 6.2–6.7%, на 70-е сут – 7.2–8.2%. Содержание ретикулярных и плазматических клеток остается, по нашим данным, стабильным на протяжении

Таблица 2

**Размерные показатели брыжеечных лимфатических узлов на их поперечном срезе у мышей в разные сроки воздействий газовой смеси, в мкм ( $X \pm Sx$ ; min–max)**

Параметр (размерность)	Группа наблюдений	Срок воздействий (сутки)			
		8-е	22-е	36-е	70-е
Толщина капсулы	эксперимент	15.7±0.54 13.2–18.4	17.9±0.36 16.3–19.7	18.0±0.32 16.1–19.2	18.7±0.32 17.0–21.5
	контроль	15.6±0.65 10.2–16.4	15.5±0.65 11.0–17.1	14.9±0.43 12.3–16.5	14.8±0.43 13.3–17.2
Толщина трабекулы	эксперимент	4.2±0.22 3.1–5.2	5.4±0.24 4.1–6.4	6.3±0.22 5.3–7.4	6.6±0.22 5.2–7.3
	контроль	4.1±0.22 3.2–5.4	3.9±0.32 2.1–5.6	4.1±0.32 3.3–6.4	4.3±0.22 3.5–5.2
Диаметр лимфатического синуса	эксперимент	3.2±0.32 2.1–5.0	4.9±0.23 3.2–5.4	5.3±0.11 5.1–6.2	5.7±0.22 4.1–6.6
	контроль	3.2±0.32 2.0–5.5	3.4±0.54 1.5–5.5	3.1±0.32 1.2–4.3	2.8±0.22 2.1–4.5
Толщина мякотного тяжа	эксперимент	21.6±0.54 18.1–23.2	16.0±0.30 15.2–18.0	14.5±0.43 12.1–16.4	14.3±0.32 13.2–16.7
	контроль	22.0±0.65 18.5–24.6	21.9±0.65 19.4–25.5	22.3±0.43 18.4–22.5	22.5±0.43 18.8–22.6

всего эксперимента (до 70-х сут воздействия газовой смеси включительно). Типичные межклеточные ассоциации (макрофагально-лимфоцитарные, плазмоцито-лимфоцитарные комплексы и др.) постоянные в контроле, при данных воздействиях на 22-е сут определяются лишь на 50–55% микропрепаратов брыжеечных лимфатических узлов, а на 36-е и 70-е сут эксперимента определяются лишь эпизодически.

Полученные данные об изменении размерных параметров брыжеечных лимфатических узлов у мышей в результате вышеуказанного воздействия парами газов (смеси ацетона, ацетальдегида и этанола) коррелирует по срокам с изменениями и массой этих экспериментальных животных. Такие изменения отсутствуют на 8-е сут воздействия, а на 22-е сут масса мышей экспериментальной группы – в 1.27 раза ( $17.8 \pm 0.24$  г;  $p < 0.05$ ); на 36-е сутки – в 1.26 раза ( $17.5 \pm 0.16$  г;  $p < 0.05$ ), а на 70-е сут опыта в 1.33 раза ( $16.9 \pm 0.25$  г;  $p < 0.05$ ) уступает контрольному значению.

Мы также изучили особенности восстановительных процессов в брыжеечных лимфатических узлах мышей в разные сроки после окончания химического воздействия газовой смеси. Была показана временная специфика этих процессов. Так, по нашим данным, после окончания воздействия газовой смеси восстановительные процессы в структурах брыжеечных лимфатических узлов мышей линии F1 (СВА×57BL6) проявляются лишь на 60-е сутки, когда размеры лимфоидных бляшек, количество и размеры лимфоидных узелков (их длина, ширина и площадь на срезе), доля лимфоидных узелков с центром размножения, абсолютное число клеток лимфоидного ряда в лимфоидной ткани брыжеечных лимфатических узлов соответствует контролю; постоянно выявляются типичные межклеточные ассоциации. Полностью вос-

становливается состав лимфоидной ткани – увеличивается и соответствует контролю относительное число лимфоцитов, лимфообластов, снижается количество дегенеративно измененных клеток. Это объяснимо, учитывая достаточно высокие восстановительные способности лимфоидной ткани периферических иммунных органов после окончания воздействия многих повреждающих факторов, что рассматривается как одна из ее структурно-функциональных особенностей [5]. Имеются данные, согласно которым комплексность факторов длительного космического полета (невесомость, стресс, низкоинтенсивная радиация и др.) являются причиной неполного восстановления тимуса, селезенки, паховых лимфатических узлов у крыс (на 25–27-е сутки), в отличие от регенераторных процессов после изолированного действия каждого из них [3].

**Выводы**

1. В результате проведенных экспериментальных исследований нами выявлены структурные изменения, развивающиеся в брыжеечных лимфатических узлах при ингаляционном воздействии смеси ацетона, ацетальдегида и этанола в условиях моделирования космического полета, а также сроки их наступления.
2. С 22-х и по 70-е сутки ингаляционного газового воздействия происходит угнетение иммуннокомпетентной функции брыжеечных лимфоузлов за счет уменьшения доли лимфоидной ткани и увеличения соединительнотканного компонента.
3. После окончания воздействия повреждающих факторов восстановительные процессы в лимфатических узлах проявляются лишь на 60-е сутки.

### Список литературы

1. Брыксина З. Г., Сапин М. Р., Чава С. В. Анатомия человека: Учебник для педагогических вузов. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2012. 423.
2. Ничипорук И. А., Васильева Г. Ю., Рыкова М. П. и др. Взаимосвязи психо-нейроэндокринной системы и иммунного статуса в условиях кратковременной антиортостатической гипокинезии и 7-суточной «сухой» иммерсии. Механизмы функционирования висцеральных систем: материалы VII Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 160-летию со дня рождения И. П. Павлова. Санкт-Петербург; 2009: 314–315.
3. Дурнова Г. Н. Сравнительное исследование лимфоидных органов крыс, находящихся во время космического полета в условиях невесомости и искусственной силы тяжести. Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1978; 75(11): 41–46.
4. Мухамедиева Л. Н. Закономерности формирования и гигиеническое регламентирование многокомпонентного загрязнения воздушной среды пилотируемых орбитальных станций: автореф. дис. ... д-ра. мед. наук. М.; 2003. 50.
5. Никитюк Д. Б., Ключкова С. В., Алексеева Н. Т., Кварацхелия А. Г. Современные представления об общих закономерностях макромикроскопической анатомии лимфоидных органов. Журнал анатомии и гистопатологии. 2015; 2: 9–13.
6. Романов С. Ю., Мухамедиева Л. Н., Гузенберг А. С., Микос К. Н. Вредные примеси в атмосфере обитаемых космических станций. Известия Российской академии наук. Энергетика. 2006; 1: 31–49.
7. Сапин М. Р., Никитюк Д. Б., Николенко В. Н., Чава С. В. Анатомия человека: под ред. М.Р. Сапина. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2013. 2: 456.
8. Сапин М. Р., Никитюк Д. Б. Иммунная система, стресс и иммунодефицит. М.: АПП «Джангар»; 2000. 184.
9. Татаркин С. В. Гемопоз и метаболический статус эритроцитов мышечной ткани при длительном комбинированном воздействии ионизирующей радиации и химических веществ, моделирующих условия межпланетных полетов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.; 2013. 26.
10. Хэм А., Кормак Д. Гистология: пер. с англ. М. Л. Калецкой; под ред. Ю. И. Афанасьева, Ю. С. Ченцова. М.: Мир; 1983. Т. 4. 132–152.
11. Чава С. В. Исследование периферических органов иммунной системы при введении в организм иммуномодуляторов нового поколения (экспериментально-морфологическое исследование): автореф. дис. ... докт. мед. наук. М.; 2007. 43.
12. Чава С. В., Мухамедиева Л. Н. Реактивные изменения лимфоидных образований гортани крыс при воздействии паров ацетальдегида в условиях эксперимента. Российские морфологические ведомости. 1995; 3: 25–26.
13. Чава С. В., Буклис Ю. В. Структурные характеристики иммунных образований селезенки мышечной после воздействия радиационного фактора низкой интенсивности. Морфологические ведомости. 2011; 4: 65–68.
14. Чава С. В., Четвертков В. С., Швецов Э. В., Никитюк Д. Б. Структурные характеристики крипт двенадцатиперстной кишки мышечной после облучения. Морфологические ведомости. 2012; 2: 113–117.
15. Четвертков В. С., Никитюк Д. Б., Швецов Э. В., Чава С. В. Структурные характеристики железистого аппарата двенадцатиперстной кишки мышечной после облучения. Астраханский медицинский журнал. 2012; 7 (4): 266–270.
16. Buravkova L. B., Grigorieva O. V., Rykova M. P. The effects of microgravity on the in vitro NK cell function during six International Space Station Missions. Bremen Microgravity Science and Technology. 2007; 19 (2): 45–47.

### References

1. Bryksina Z. G., Sapin M. R., Chava S. V. Anatomiya cheloveka: Uchebnik dlya pedagogicheskikh vuzov [Human anatomy]. Moscow: GEHOTAR-Media; 2012. 376 (in Russian).
2. Nichiporuk I.A., Vasil'eva G.Yu., Rykova M.P., et al. Vzaimosvyazi psihonejroendokrinnnoj sistemy i immunnogo statusa v usloviyah kratkovremennoj antiortostaticheskoy gipokinezii i 7-sutochnoj «suhoj» immersii [The relationship of psychoneuroendocrine system and immune status in conditions of short-term antiorthostatic hypokinesia and 7-day "dry" immersion]. Mekhanizmy funkcionirovaniya visceral'nyh sistem: materialy VII Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 160-letiyu so dnya rozhdeniya I. P. Pavlova [The mechanisms of functioning of visceral systems: proceedings of the VII Russian conference with international participation, dedicated to the 160th anniversary since the birth of I. P. Pavlov] 2009. St. Petersburg; 2009: 314–315 (in Russian).
3. Durnova G.N. Sravnitel'noe issledovanie limfoidnyh organov krys, nahodyashchih'sya vo vremya kosmicheskogo poleta v usloviyah nevesomosti i iskusstvennoj sily tyazhesti [A comparative study of the lymphoid organs of rats, which during the space flight in weightlessness and artificial gravity]. Archives of Anatomy, Histology, and Embryology. 1978; 75(11): 41–46 (in Russian).
4. Muhamedieva L.N. Zakonomernosti formirovaniya i gigienicheskoe reglamentirovanie mnogokomponentnogo zagryazneniya vozduшной sredy pilotiruemykh orbital'nykh stancij: avtoref. dis. ... d-ra. med. nauk [Regularities of formation and hygienic regulation of a multicomponent air pollution manned space stations: Doct.med.sci.diss.abs.]. Moscow; 2003. 50 (in Russian).
5. Nikityuk D.B., Klochkova S.V., Alekseeva N.T., Kvarackheliya A.G. Sovremennye predstavleniya ob obshchih zakonornostyakh makromikroskopicheskoy anatomii limfoidnyh organov [Contemporary Concepts General Laws of Macro-Microscopic Anatomy of Lymphoid Organs]. Journal of Anatomy and Histopathology. 2015; 2: 9–13 (in Russian).
6. Romanov S.Yu., Mukhamedieva L.N., Guzenberg A.S., Mikos K.N. Vrednye primesi v atmosfere obitaemykh kosmicheskikh stancij [Contaminants in Space stations atmosphere]. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering. 2006; 1: 31–49 (in Russian).
7. Sapin M.R., Nikityuk D. B., Nikolenko V. N., Chava S. V. Anatomiya cheloveka [Human anat

- omy]. Moscow: GEHOTAR-Media; 2013. 2: 456 (in Russian).
8. Sapin M. R., Nikityuk D. B. Immunnaya sistema, stress i immunodeficit [Immune system, stress and immune deficiency]. Moscow: Jangar; 2000. 184 (in Russian).
  9. Tatarin S. V. Gemopoez i metabolicheskij status ehritocitov myshej pri dlitel'nom kombinirovannom vozdeystvii ioniziruyushchej radiacii i himicheskij veshchestv, modeliruyushchih usloviya mezhplanetnyh polyotov: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Haematopoiesis and metabolic status of erythrocytes of mice during long-term combined impact of ionizing radiation and chemicals, simulating the conditions of interplanetary flight: Cand.med.sci.diss.abs.]. Moscow; 2013. 26 (in Russian).
  10. Hehm A., Kormak D. Gistologiya [Histology]. per. s angl. M. L. Kaleckoj. Pod red. Yu. I. Afanas'eva, Yu. S. Chencova. Moscow: Mir; 1983. Vol. 4: 132–152 (in Russian).
  11. Chava S. V. Issledovanie perifericheskijh organov immunnnoj sistemy pri vvedenii v organizm immunomodulyatorov novogo pokoleniya (ehksperimental'no-morfologicheskoe issledovanie): avtoref. dis. ... dokt. med. nauk [The study of the peripheral organs of the immune system when introduced into the body of new generation immunomodulators (experimental-morphological study)]. Moscow; 2007. 43 (in Russian).
  12. Chava S. V., Muhamedieva L. N. Reaktivnye izmeneniya limfoidnyh obrazovanij gortani krysa pri vozdeystvii parov acetal'degida v usloviyah ehksperimenta [Reactive changes in lymphoid formations of the larynx of rats when exposed to vapors of acetaldehyde in the experiment]. Rossijskie morfologicheskie vedomosti. 1995; 3: 25-26 (in Russian).
  13. Chava S. V., Buklis Yu. V. Strukturnye harakteristiki immunnyh obrazovanij selezenki myshej posle vozdeystviya radiacionnogo faktora nizkoj intensivnosti [Structural characteristics of immune formations of the mice spleen after low intensive radiated actions]. Morphological Newsletter. 2011; 4: 65–68.
  14. Chava S.V., Chetvertkov V.S., Shvetsov E.V., Nikityuk D.B. Strukturnye harakteristiki kript dvenadcatiperstnoj kishki myshej posle oblucheniya [The structural organization of the intestinal glands (crypts) of the mice duodenum after irradiation]. Morphological Newsletter. 2012; 2: 113–117.
  15. Chetvertkov V.S., Nikityuk D.B., Shvecov E.V., Chava S.V. Strukturnye harakteristiki zhelezistogo apparata dvenadcatiperstnoj kishki myshej posle oblucheniya [The structural characteristic of the glandular apparatus of the mice duodenum after irradiation]. Astrakhan Medical Journal. 2012; 7 (4): 266–270.
  16. Buravkova L. B., Grigorieva O. V., Rykova M. P. The effects of microgravity on the in vitro NK cell function during six International Space Station Missions. Bremen Microgravity Science and Technology. 2007; 19 (2): 45–47.

#### Сведения об авторах

**Клочкова Светлана Валерьевна** – д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры анатомии человека ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова» Минздрава России. 125009, г. Москва, ул. Моховая, 11, стр. 10.

**Алексеева Наталья Тимофеевна** – д-р мед. наук, доцент, зав. кафедрой нормальной анатомии человека ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко» Минздрава России. 394036, г. Воронеж, ул. Студенческая, 10.

**Кварацхелия Анна Гуладиевна** – канд. биол. наук, доцент кафедры нормальной анатомии человека ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко» Минздрава России. 394036, г. Воронеж, ул. Студенческая, 10.

**Васянина Карина Асхабовна** – канд. мед. наук, старший преподаватель кафедры анатомии человека ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова» Минздрава России. 125009, г. Москва, ул. Моховая, 11, стр. 10.

**Никитюк Дмитрий Борисович** – д-р мед. наук, профессор, чл.-корр. РАН, директор ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи». 109240, г. Москва, Устьинский проезд, 2/14 г.

Поступила в редакцию 16.03.2017 г.