



## Возрастные особенности строения легких половозрелых крыс под воздействием гравитационных перегрузок и при использовании различных средств повышения устойчивости к их действию

Авторы: Т.С.Шимкус (ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Медицинская Академия им.С.И. Георгиевского, г. Симферополь, Россия), И.А. Верченко (ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Медицинская Академия им.С.И. Георгиевского, г. Симферополь, Россия)

**Введение.** Современное развитие науки и техники выдвигает проблему изучения адаптации организма к различным факторам внешней среды. Например, для достижения господства в воздухе в XXI веке авиация приобретет сверхманевренность, которая сопряжена с воздействием длительных динамических перегрузок с высоким градиентом нарастания и спада. Поэтому особый интерес представляет изучение длительного влияния факторов высотного полетов (а именно – ускорения) на организм животных и человека, а так же разработка мероприятий, повышающих его устойчивость к действию экстремальных условий [1-4]. Переносимость перегрузок в значительной мере связана с состоянием органов дыхания. Это связано с тем, что с одной стороны, дыхательная система обеспечивает покрытие резко возрастающих энерготрат и кислородного запроса организма, а с другой стороны, органы дыхания сами подвергаются воздействию перегрузки что проявляется выраженными изменениями не только биомеханики дыхания, но и вентиляционно-перфузионных отношений в легких [5,6]. Одним из актуальных аспектов является изучение методов защиты от перегрузочных ускорений пилотов сверхзвуковой авиации, т.к. методы,

применяемые в современной авиации, не оказывают достаточного эффекта [7]. **Цель** – комплексная оценка изменений разных уровней структурной организации легких половозрелых крыс под воздействием гипергравитации, а так же на фоне ее коррекции предлагаемыми методами.

**Материалы и методы исследования.** Эксперимент был проведен на 6-месячных крысах линии Вистар, которые, в свою очередь, были разделены на подгруппы в зависимости от продолжительности эксперимента (А - 10-дней и Б - 30-дней). Поперечно-направленные (в направлении "грудь-спина") перегрузки моделировались с использованием экспериментальной центрифуги (Ц-2/500 с радиусом 0,5 м и рабочим диапазоном от 1 до 50g. Величина перегрузки составляла 9 g с градиентом нарастания 1,4 – 1,6 ед/с и градиентом спада 0,6 – 0,8 ед/с. Эксперимент проводили в одно и то же время суток, в течение 10 мин. В серию 3 вошли животные, подвергающиеся воздействию идентичных перегрузок, но находящиеся в условиях предлагаемой нами физической защиты, за прототип которой был взят иммерсионный способ физической защиты

биологических объектов при воздействии гравитационных перегрузок, который заключается в погружении животного в жидкую среду. Четвертую серию составили животные, подвергавшиеся воздействию гравитационных перегрузок при применении фармакологической коррекции с помощью парентерального введения препарата Глютаргин в дозировке 100 мг/кг веса животного непосредственно перед воздействием гипергравитации. Животные 5 серии находились под воздействием гравитационных перегрузок в условиях физической защиты и фармакологической коррекции одновременно. При завершении сроков эксперимента животных выводили из эксперимента методом декапитации под эфирным наркозом и проводили забор органов. Для гистологического исследования срезы окрашивали гематоксилином и эозином, по Ван-Гизон и пикрофуксин-фукселином. Гистоморфометрическое исследование проводили с помощью цитоморфологического комплекса "Олимпус" – СХ 31 и цифровой видеокамеры "Олимпус" - С 5050 ZOOM объективами микроскопа Plan 10 x /0,25 и Plan 40 x /0,65. С помощью компьютерной программы Image-Pro Plus Version 4.5.

Для гистологического исследования определяли удельный объем легочной ткани с неизменной архитектурой, эмфизематозно измененных участков, ателектазов, дистелектазов и кровоизлияний. Так же проводили определение диаметра прекапиллярных артериол, гемокапилляров и посткапиллярных венул [8].

Материал для трансмиссионной электронной микроскопии забирали из участков легких свободных от крупных сосудов и бронхов., изготавливали ультратонкие срезы (30 – 60 нм), которые после окраски по Рейнольдсу просматривали и фотографировали на электронном микроскопе ПЭМ-100 (Украина).  
**Результаты и их обсуждение.** При использовании физической защиты альвеолы имели различные размеры – одни из них находились в коллабированном состоянии, или в состоянии неполного спадания, другие – наоборот расширены. В зависимости от этого, межальвеолярные перегородки были либо утолщены и отечны, либо истончены. В сравнении с действием гравитационных перегрузок, происходило увеличение удельного объема неизменной паренхимы и эмфизематозно измененных участков. Наряду с этим, происходило снижение удельного объема ателектазов, кровоизлияний и дистелектазов (рис. 1). Отмечалось достоверное снижение диаметра гемокапилляров и венул, а диаметр посткапиллярных артериол увеличивался. При применении фармакологической коррекции на фоне неизменной легочной ткани, встречались ателектазы, дистелектазы и участки вздутия легочной ткани с истончением

межальвеолярных перегородок, кровоизлияния состояли из гемолизированных эритроцитов, лейкоцитов и макрофагов. Однако гистоморфометрические критерии носили недостоверный характер. После комбинированного использования физической защиты и фармакологической коррекции полнокровие легочной ткани было выражено незначительно. Наблюдалось повышение объемной плотности легочной ткани с неизменной архитектурой и эмфизематозно измененной паренхимы. Так же происходило снижение удельного объема ателектазов и дистелектазов и кровоизлияний. Так же имело место некоторое расширение капилляров и венул (рис.2).

На ультраструктурном уровне в просвете альвеол обнаруживались различное количество отечной жидкости, в которой присутствовали либо единичные, либо более многочисленные эритроциты и другие форменные элементы крови, отломки внутриклеточных органелл, фигуры «тубулярного миелина», неразвернутые или частично развернутые осмиофильные пластинчатые тельца, скопления осмиофильного материала и альвеолярные макрофаги. Причем большинство из них было представлено клетками с признаками высокой функциональной активности. При этом количество ОПТ в цитоплазме было увеличено и они были представлены зрелыми, незрелыми ОПТ и переходными формами. Это косвенно указывает на усиление их синтетической функции, несмотря на наличие интрацеллюлярного отека.

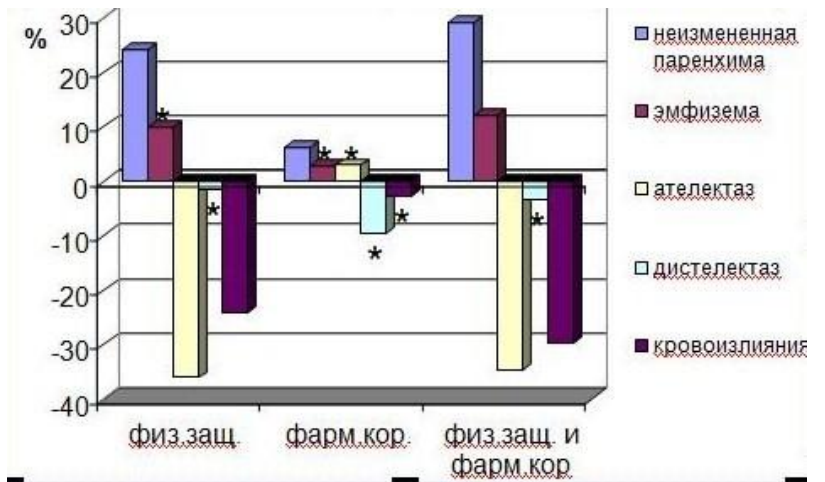


Рис. 1. Сравнительная морфометрическая характеристика легких после 10 дней эксперимента в сравнении с воздействием гравитационных перегрузок. \* - (p>0,05)

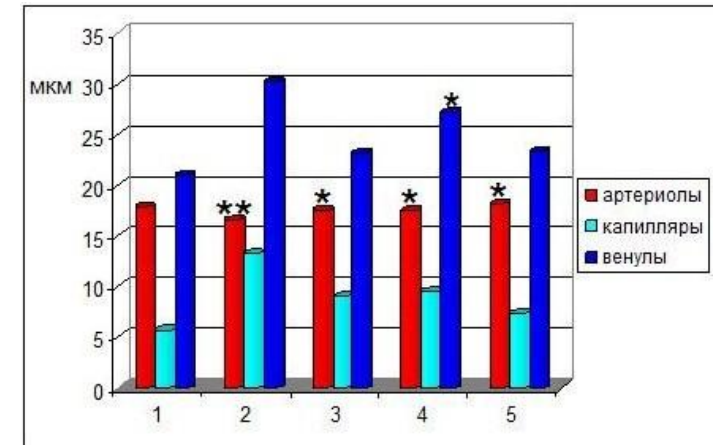


Рис 2. Сравнительная морфометрическая характеристика сосудов после 10 дней эксперимента в сравнении с воздействием гравитационных перегрузок. 1 – контроль, 2 – воздействие гравитационных перегрузок, 3 – применение метода физической защиты, 4 – использование фармакологической коррекции, 5 – комбинированное применение физической защиты и фармакологической коррекции. \* - (p>0,05), а \*\* - (p>0,05) в сравнении с контролем

После 30 дней эксперимента при использовании физической защиты полнокровие легких было выражено незначительно. Выявлялись небольшие фокусы кровоизлияний, состоящие из гемолизированных эритроцитов, лейкоцитов и макрофагов. В сравнении с воздействием гипергравитации происходило увеличение удельного объема неизменной паренхимы. Снизилась волюметрическая фракция эмфизематозно измененных участков, ателектазов, кровоизлияний, и дистелектазов (рис. 3). Диаметр капилляров и венул снижался, а увеличение диаметра артериол было незначительным. После применения глутаргина увеличивался удельный объем ткани с неизменной архитектурой и дистелектазов. При этом объемная плотность эмфизематозно измененной паренхимы снизилась а волюметрическая фракция ателектазов и кровоизлияний снижалась. И капилляры и посткапиллярные венулы были незначительно расширены и заполнены кровью. Их диаметр достоверно снижался, а изменение диаметра артериол было незначительным (рис. 4).

Коррекция воздействия гравитационных перегрузок применением физической защиты и фармакологической коррекции приводило к незначительному кровенаполнению легких. В сравнении с воздействием гипергравитации удельный объем неизменной паренхимы возрастал а кровоизлияний снижался. Так же происходило снижение удельного объема эмфизематозно измененных участков, ателектазов и дистелектазов. Диаметр капилляров и посткапиллярных венул достоверно снижался почти в 2 раза, а так же наблюдалось

недостоверное увеличение диаметра артериол.

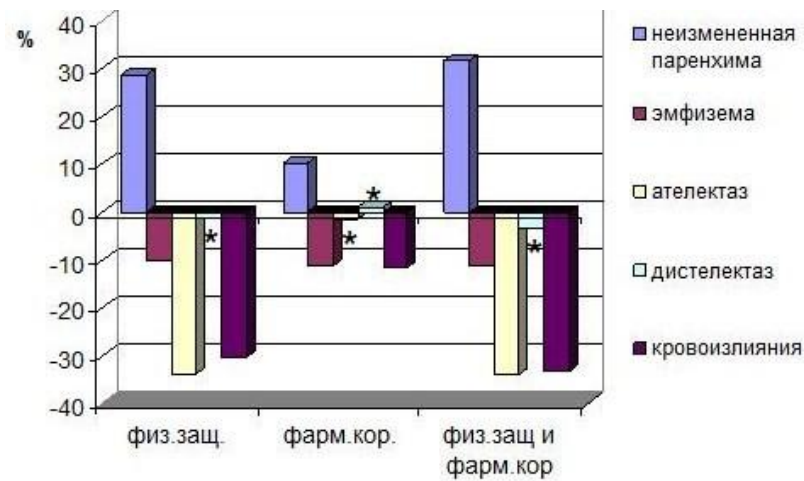
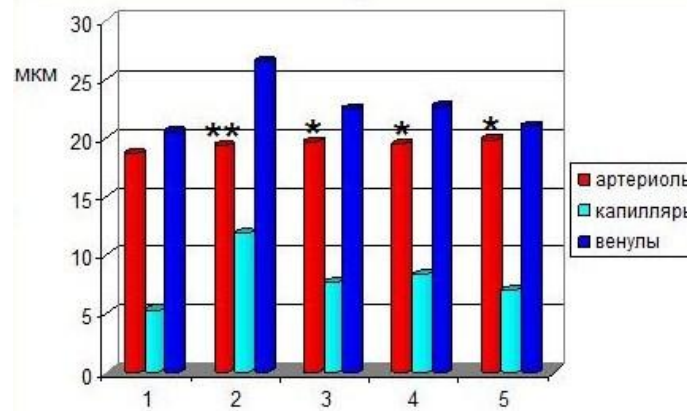


Рис. 3. Сравнительная морфометрическая характеристика легких после 30 дней эксперимента в сравнении с воздействием гравитационных перегрузок. \* - ( $p > 0,05$ ),



Сравнительная морфометрическая характеристика сосудов легких в сравнении с воздействием гравитационных перегрузок.

1 – контроль, 2 – воздействие гравитационных перегрузок, 3 – применение метода физической защиты, 4 – использование фармакологической коррекции, 5 – комбинированное применение физической защиты и фармакологической коррекции где \* - ( $p > 0,05$ ), а \*\* - ( $p > 0,05$ ) в сравнении с контролем

После 30 дней эксперимента изменения на ультраструктурном уровне были схожими с аналогичными предыдущей серии, но имели место некоторые различия, которые свидетельствовали о наличии положительной динамики. В цитоплазме альвеолоцитов II типа количество осмиофильных пластинчатых телец было увеличено. Цитоплазма имела высокую электронно-оптическую плотность и содержала большое количество хорошо развитых органелл, среди которых преобладали небольшие митохондрии с плотным матриксом и параллельно расположенными кристами. Клетки обладали относительно крупными размерами, большим ядром с неравномерно распределенным хроматином, так же развитыми и многочисленными митохондриями, осмиофильными пластинчатыми тельцами рибосомами, различного вида мультивезикулярными тельцами, расположенных возле комплекса Гольджи, а также (рис. 5).

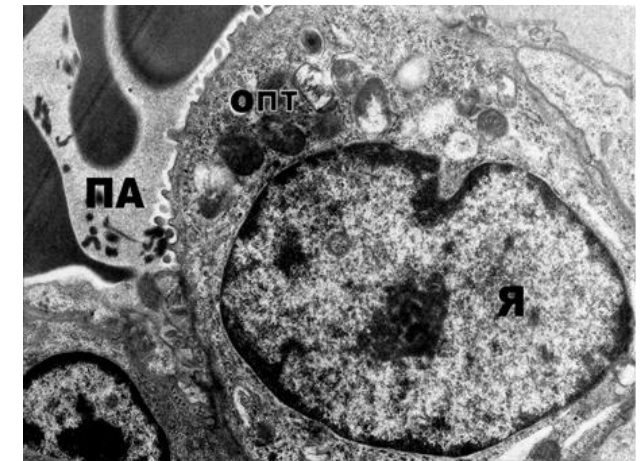


Рис. 5. Осмиофильные пластинчатые тельца различной формы в цитоплазме альвеолоцита II типа. ТЭМ. Ув. 6400.

## Заключение

Использование метода физической защиты во время воздействия гравитационных перегрузок оказывало видимый протекторный эффект на легочную ткань. Наиболее выраженный статистически значимый эффект применения глутаргина в качестве фармакологической коррекции, проявлялся в группе животных только после 30 дней эксперимента, а при комбинированном использовании методов физической защиты и фармакологической коррекции наиболее выраженный корригирующий эффект был выявлен в группе половозрелых животных на протяжении всего эксперимента.

## Список использованной литературы

1. Пономаренко В.А. Лекции: медико-психологические проблемы деятельности лётчика в высокоманевренном полёте // Авиакосмическая и экологическая медицина. — 2001. - Т. 35, N 2. - С. 22-26.
2. Авиационная медицина / под ред. Н. М. Рудного, П. В. Васильева, С. А. Гозулова. – М.: Медицина, 1986. – 580 с.
3. Васильев П. В. Пилотажные перегрузки / П. В. Васильев, Г. Д. Глод // Авиационная медицина: руководство / под ред. Н. М. Рудного, П. В. Васильева, С. А. Гозулова. – М. : Медицина, 1986. – С. 75–100
4. Гозулов С. А. К вопросу о кумулятивном влиянии ускорений / С. А. Гозулов // Военно-медицинский журнал. – 1956. – № 10. – С. 53–59.

5. Колотева М.И., Котовская А.Р, Виль-Вильямс И.Ф., Лукьянюк В.Ю., Гаврилова Л.Н. Переносимость перегрузок женщинами-космонавтами на участке спуска в космических полетах длительностью от 8 до 169 суток, Авиакосмическая и экологическая медицина. — 2001. - Т. 35, № 6. - С. 24-30.
6. Бухтияров И.В., Головкина О.Л., Хоменко М.Н. Газоэнергообмен человека при воздействии перегрузок + Gz и использовании различных средств противоперегрузочной защиты // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2004. - № 1. – С. 35-39.
7. Сергеев А.А. Физиологические механизмы действия ускорений. – М.; Л., 1967.
8. Таирбеков М.Г. Позиционный гомеостаз клетки и проблема морфогенеза в гравитационном поле // Успехи современной биологии /1990. – Т.1, №1. С. 47-65.

Т.С. Шимкус - тел. +79787077740,  
[shimkus\\_tatyana@mail.ru](mailto:shimkus_tatyana@mail.ru)  
И.А. Верченко – тел. +79787382419,  
[igor.verchenko72@gmail.com](mailto:igor.verchenko72@gmail.com)