

Космические трассы для пилотируемых кораблей проложили биоспутники с животными на борту. В лётных экспериментах на животных закладывались основы космической биологии. За прошедшие с тех пор полвека космическая биология открыла путь человеку в космос, обосновала возможность длительного его пребывания в невесомости и создала научные основы космической медицины. Что касается фундаментальных знаний о механизмах адаптации живых систем к условиям космического полёта, то в этом направлении сделаны лишь первые шаги. В становлении и развитии космической биологии велика заслуга отечественных учёных, к которым принадлежат и авторы публикуемой ниже статьи.

ЖИВОТНЫЕ В КОСМОСЕ

К 50-ЛЕТИЮ КОСМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ

А. И. Григорьев, Е. А. Ильин

3 ноября 1957 г., через месяц после успешного запуска первого в мире искусственного спутника Земли (ИСЗ), стартовал второй ИСЗ, на борту которого в орбитальный космический полёт отправилась собака Лайка, ставшая олицетворением дерзновенных планов покорения человеком космического пространства. Фактически с этого года начала свой отсчёт космическая биология - новая область естествознания.

Сейчас, отмечая 50-летие первого полёта живого существа на борту космического аппарата, мы уже понимаем, сколь передовыми в мыслях и смелыми в работе были те, кто задумал, подготовил и осуществил этот исторический полёт, О.Г. Газенко, В.И. Яздовский, А.М. Генин, А.А. Гюрджян, И.С. Балаховский, А.Д. Серяпин, В.С. Георгиевский и другие сотрудники На-

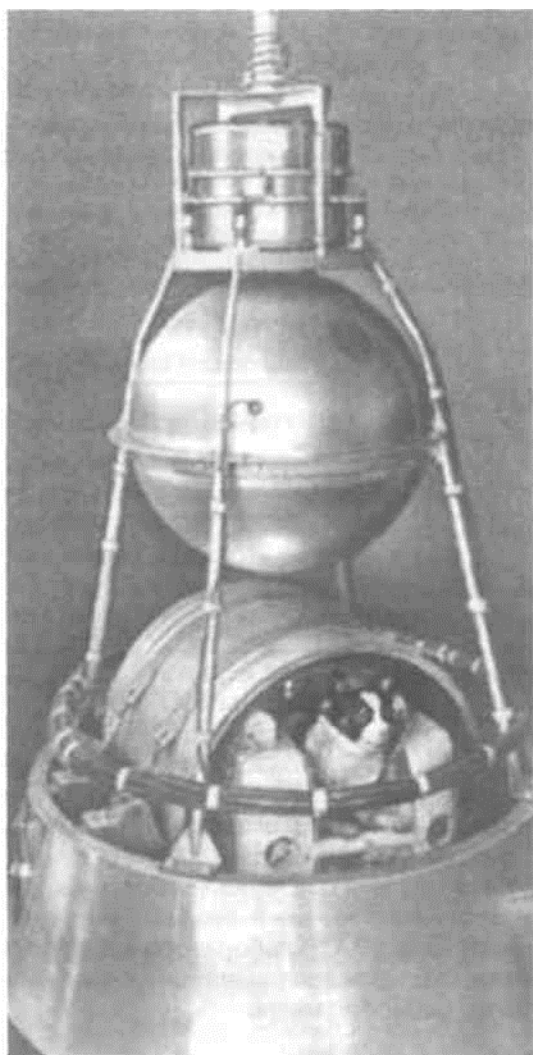
учно-исследовательского испытательного института авиационной медицины МО СССР. Следует отметить также большой вклад учёных Академии наук СССР в становление и развитие космической биологии. Академики В.Н. Черниговский, В.В. Парин, Н.М. Сисакян, Н.П. Дубинин, В.А. Энгельгард, А.А. Имшенецкий не только прониклись идеями освоения человеком космического пространства, но и создали в институтах Академии наук СССР лаборатории космической биологии, существенно расширив команду так называемых космобиологов.

Особо хотелось бы отметить роль пионера космической физиологии академика Владимира Николаевича Черниговского, успешно осуществившего первые биомедицинские эксперименты на животных в суборбитальных полётах ракет. Он участвовал в разработке методов отбора и подготовки собак к полётам на ракетах, выступал в качестве научного консультанта по программе физиологических исследований в полётах ракет и первых искусственных спутников Земли.

Определение новой отрасли знаний - космической биологии - было сформулировано в 1962 г. в публикациях Н.М. Сисакяна, В.В. Ларина, В.Н. Черниговского, О.Г. Газенко и А.М. Генина [1, 2]. Они показали, что космическая биология возникла и формировалась на стыке ряда научных дисциплин, поэтому в своих исследованиях она широко использует достижения общей биологии, физиологии, физики, химии, астрономии, геофизики, аэродинамики, радиотехники и многих других дисциплин. Другими словами, космическая биология - это интегративная область наук о жизни. В тех же публикациях приведены три



Авторы работают в Институте медико-биологических проблем РАН. ГРИГОРЬЕВ Анатолий Иванович – академик, директор института, ИЛЬИН Евгений Александрович – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, советник директора.



Второй искусственный спутник Земли с собакой Лайкой в кабине для животных

проблемы, составляющие основное содержание космической биологии:

- влияние экстремальных факторов космического полёта и пространства на живые системы;
- биологические основы обеспечения пилотируемых космических полётов и жизни на планетах;
- формы и условия внеземной жизни.

Эти научные проблемы и в настоящее время не утратили своей актуальности, для их решения разрабатываются конкретные программы биологических исследований в космосе.

ПОЛЁТНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА СОБАКАХ

С 1951 по 1958 г. было осуществлено 29 запусков ракет с собаками на борту на высоты от 110 до 460 км. В биомедицинских экспериментах

участвовали 50 собак, некоторые из них летали на ракетах дважды. Было установлено, что собаки нормально переносили ускорения и вибрации при запуске ракет, ускорения при спуске, а также катапультирование из кабины ракеты на больших высотах. Невесомость, которая продолжалась до 20 минут, собаки переносили хорошо. Отклонений от нормы изучаемых и физиологических параметров не отмечалось.

Вполне естественно, что в 1950-е годы подготовка к полётам животных на ракетах и искусственных спутниках Земли велась в строгой секретности. Первые открытые публикации результатов биомедицинских исследований в полётах ракет появились в 1958 г., однако фамилии авторов были вымышленными. Небезынтересно узнать, что академик В.Н. Черниговский в этих публикациях фигурировал под именем В.Н. Чернова, О.Г. Газенко - О.Г. Горлова, В.И. Яздовский - В.И. Яковлева, А.М. Генин - А.М. Галкина, А.Р. Котовская - А.Р. Котова. Первые подробные публикации, посвященные космическим полётам, с настоящими, а не вымышленными фамилиями исследователей увидели свет лишь в 1962 г., после успешного выполнения первых пилотируемых полётов.

В этих публикациях приведён перечень проблем, которые пришлось решать специалистам Института авиационной медицины при подготовке к запуску в космос собаки Лайки [3]. Он включал разработку методик отбора и предполётной тренировки животных, а также методов телеметрической передачи физиологических параметров на Землю, изучение переносимости длительно действующих ускорений и вибраций, характерных для периода выведения ИСЗ на орбиту, и, наконец, создание систем жизнеобеспечения животного в космическом полёте. Всё это потребовало обширных экспериментальных исследований и биотехнических испытаний в лабораторных условиях и на специальных стендах. По результатам предполётной подготовки, которая включала, в частности, длительное (от 6 до 20 суток) пребывание в герметичной кабине для животных, из десяти обследованных собак была отобрана Лайка - короткошёрстная самка в возрасте около двух лет, весом 6 кг.

Герметичная кабина для животного была сконструирована исходя из требований строгой экономии веса и габаритов. В цилиндрическом контейнере наряду с собакой компактно размещались система жизнеобеспечения и аппаратура для научных исследований. Длина кабины составляла 800 мм, диаметр - 640 мм. В своей передней части она имела съёмную крышку с иллюминатором из органического стекла для наблюдения за животным в наземных условиях.

Собака Лайка помещалась в отсеке герметичной кабины, пол которого был выстлан пробковым листом, а боковые стенки - фетровой тканью. Собака фиксировалась в кабине с помощью передних и задних цепочек, крепившихся к тканевой одежде, которая имела отверстия для головы, конечностей, хвоста и патрубка ассенизационного устройства. Натяжение цепочек было таким, чтобы позволять собаке стоять, лежать и пользоваться кормушкой.

На животном были установлены потенциометрический датчик дыхательных движений, манжета на сонной артерии с пьезоэлектрическим датчиком для регистрации осцилляции сосудистой стенки с целью измерения артериального давления и вживленные серебряные электроды для регистрации ЭКГ в одном отведении. К фиксирующей одежде крепился потенциометрический датчик для регистрации двигательной активности животного. В состав медицинской аппаратуры входили также усилительно-коммутационный блок с двумя усилителями биопотенциалов и источники электропитания. Во время орбитального полёта спутника физиологические параметры по каналам радиотелеметрии передавались на наземные станции слежения.

Для полётного эксперимента, рассчитанного на семь суток, была приготовлена питательная смесь в виде геля, который одновременно был источником и пищи, и воды. В кормушку перед полётом было загружено 2.5 л геля, содержавшего мясной и сухарный порошки, жир говяжий, агар-агар, салициловую кислоту и воду. Калорийность всей смеси составляла 2500 ккал, что соответствовало возможным энергозатратам животного в недельном полёте.

Удовлетворительные условия газовой среды в герметичной кабине второго ИСЗ обеспечивали высокоактивные химические реагенты, поглощавшие углекислоту и влагу и выделявшие необходимое количество кислорода. Побудителем тока воздуха через регенерационную установку служили моторы с вентиляторами.

В соответствии с программой полёта предусматривалась передача на Землю по каналам радиотелеметрии таких параметров, как ЭКГ, частота дыхательных движений, величина максимального артериального давления, двигательная активность животного, барометрическое давление и температура воздуха в камере. К сожалению, не всё задуманное удалось реализовать. Во время первых трёх витков спутника вокруг Земли (4.5 часа полёта) научная информация поступала в полном объёме, а начиная с четвёртого витка качество телеметрической физиологической информации стало таким, что её невозможно было



Собаки Белка и Стрелка – первые представители Земли, вернувшиеся из космоса

расшифровать. К пятому часу орбитального полёта температура воздуха в герметичной камере для животного поднялась до 41°C, что, как показали последующие наземные эксперименты, и стало причиной гибели Лайки.

Детальный анализ изменений частоты сердечных сокращений, ЭКГ, частоты дыхательных движений, зарегистрированных в первые часы космического полёта Лайки, показал, что период выведения спутника на орбиту собака перенесла удовлетворительно, а в орбитальном полёте отмечалась нормализация регистрируемых функциональных показателей. Всё это свидетельствовало о том, что жизнь в условиях длительной невесомости возможна [4]. Сейчас можно с уверенностью сказать, что заключение о возможности жизни в невесомости, сделанное на основе полёта Лайки, в определённой мере ускорило создание в СССР космического аппарата "Восток" для полёта человека. В знак благодарности собаке Лайки за её вклад в космическую биологию и медицину в день 50-летия её полёта в космос перед институтом, где готовился этот полёт, был установлен бронзовый памятник.

Полёт в космос собаки положил начало планомерным исследованиям на животных актуальных проблем космической биологии. В 1960-1961 гг. в четырёх полётах модифицированных космических аппаратов "Восток", объявленных в прессе как космические корабли-спутники, были проведены физиологические и биологические эксперименты на шести собаках, грызунах и ряде других биообъектов. Впервые на втором космическом корабле-спутнике собаки Белка и Стрелка, а также другие животные были успешно возвращены на Землю. Наряду с изучением влияния на организм невесомости, в этих полётах, продолжавшихся до 27 часов, испытывались созданные для

пилотируемых полётов системы жизнеобеспечения и аппаратура телеметрического контроля за состоянием организма. "Серия замечательных биологических экспериментов на втором, третьем, четвертом и пятом кораблях-спутниках позволила решить много важных вопросов. Были получены основные отправные данные для чрезвычайно ответственного заключения: полёт человека по круговой орбите, расположенной заведомо ниже околоземных радиационных поясов, будет с биологической и медицинской точек зрения безопасен для его здоровья и жизни" [1, с. 10]. Подготовку и проведение исследований на возвращаемых космических кораблях-спутниках в 1960-1961 гг. осуществляли специалисты Государственного научно-исследовательского испытательного института авиационной и космической медицины МО СССР (в прошлом - Институт авиационной медицины).

Последний запуск двух собак в космос состоялся в 1966 г. на космическом аппарате "Космос-110" - одном из неиспользованных кораблей "Восток". Это был первый самый длительный, в течение 22 суток, космический полёт живого существа. К тому времени длительность полётов пилотируемых кораблей не превышала пяти суток. Исследования, проведённые специалистами Института медико-биологических проблем МЗ СССР во время полёта "Космоса-ПО" и в периоде реадaptации, выявили многочисленные нарушения в функциональных системах собак, и прежде всего в мышечной и костной [5]. И это дало основание впервые со всей серьёзностью поставить вопрос о необходимости разработки и внедрения в пилотируемую космонавтику средств и методов профилактики неблагоприятного влияния невесомости на организм человека.

Вполне естествен вопрос: почему в СССР для первых экспериментальных исследований в космических полётах были выбраны собаки? Причин тому много. Собаки - традиционный объект исследований в отечественной физиологии, их анатомия и физиология хорошо изучены, и у экспериментаторов имелся богатый опыт работы с этими животными. Следует также учесть, что поскольку лётные эксперименты на собаках носили в значительной степени испытательный характер, для них требовались животные, наиболее близкие по своей физиологии человеку. В СССР выбор первоначально пал на беспородных собак, а в США - на обезьян. В 1973-1997 гг. в нашей стране акцент в лётных экспериментах был сделан на крысах и обезьянах. Выбор крыс объяснялся тем, что на одном космическом аппарате можно разместить до 45 особей и провести сразу много разных экспериментов, а выбор обезьян - тем, что они наиболее адекватные объекты для

исследований сердечно-сосудистой и нейровестибулярной систем человека.

ПРОГРАММА "БИОН"

Регулярные полёты млекопитающих и других животных в космос начались в СССР в 1973 г. и закончились в 1997 г. Для этого был изготовлен космический аппарат "Бион" (биоспутник), специально предназначенный для биологических исследований в орбитальных полётах, и разработана долгосрочная научная программа "Бион", предусматривающая решение как фундаментальных, так и прикладных задач космической биологии и физиологии.

Великий русский физиолог, лауреат Нобелевской премии академик И.П. Павлов в одной из своих работ писал: "Только пройдя через огонь эксперимента вся медицина станет тем, чем быть должна, то есть сознательной, а следовательно, всегда и вполне целесообразно действующей" [6]. Эти слова в полной мере относятся и к космической медицине. Следует признать, что впечатляющие успехи пилотируемой космонавтики стали возможны благодаря использованию экспериментальных животных для изучения биологических эффектов невесомости и других факторов космического полёта и космического пространства. Считаю нужным ещё раз напомнить, что первому полёту человека в космос предшествовали многочисленные полёты животных на ракетах и автоматических космических аппаратах, то есть животные были своеобразными разведчиками и первопроходцами космических трасс, по которым предстояло летать Пилотируемым кораблям.

По мере усложнения космических полётов человека и увеличения их продолжительности стало очевидным, что надобность в проведении лётных экспериментов на животных отнюдь не утратила своей актуальности. На очередном этапе развития космонавтики от экспериментов на животных требовалось решение фундаментальных проблем жизни в космосе и оценка возможного повреждающего действия на организм факторов космического полёта.

Известно, что в 1970-х годах в нашей стране началось создание долговременных орбитальных станций. К тому времени было ясно, что человек может жить и эффективно работать в космосе. Однако оставался без ответа вопрос о том, какой ценой даётся адаптация к необычным, фактически экстремальным, условиям полёта и не приведёт ли длительное пребывание человека в невесомости к патологическим изменениям или таким изменениям, которые могут существенно снизить устойчивость организма к другим факторам кос-

мического полёта, в частности к космической радиации.

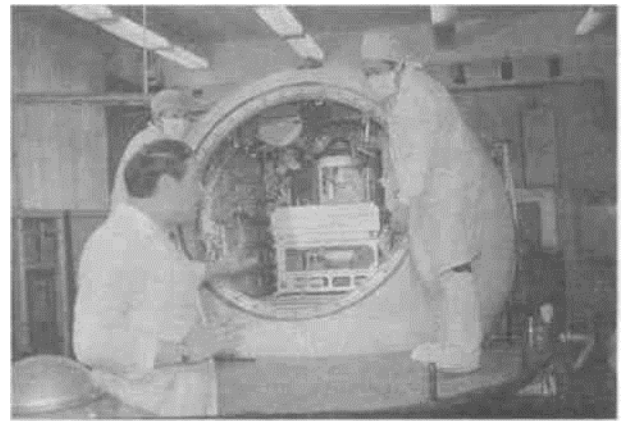
Признавая высокую теоретическую и практическую значимость биологических экспериментов в космосе, директивные органы нашей страны издали в январе 1970 г. Постановление о создании биологических спутников "Бион" и проведении на них экспериментальных исследований в интересах дальнейшего совершенствования системы медицинского обеспечения пилотируемых полётов различной степени сложности и различной продолжительности. Разработчиком и создателем биоспутника были определены Центральное специализированное космическое бюро и завод "Прогресс" в Куйбышеве, ответственными за реализацию научной программы "Бион" и создание бортовой научной аппаратуры - Институт медико-биологических проблем в Москве и Специализированное конструкторско-технологическое бюро "Биофизприбор" в Ленинграде соответственно.

С 1973 по 1997 г. в космос было запущено 11 биоспутников, которые в сообщениях ТАСС именовались спутниками серии "Космос". Все биообъекты, а в программе исследований насчитывалось более 30 наименований, размещались вместе с научной аппаратурой внутри спускаемого аппарата объёмом около 5 м³. Во время полёта на борту поддерживались земные условия среды обитания. Уровень микрогравитации составлял от 10⁻⁴ до 10⁻⁶ g. Масса полезной нагрузки внутри спускаемого аппарата равнялась 700 кг и снаружи - 200 кг. Длительность полётов колебалась от 5 до 22.5 суток.

Биоспутники были оснащены уникальной научной аппаратурой, в том числе аппаратурой для экспериментов с крысами линии Вистар и обезьянами макаками резусами. В полётах 11 биоспутников были проведены эксперименты на 212 крысах и 12 обезьянах. Следует подчеркнуть, что все экспериментальные исследования на млекопитающих и низших позвоночных животных проводились в соответствии с требованиями национального законодательства по содержанию животных и гуманному обращению с ними, а также в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения и Хельсинской конвенции.

В программе "Бион" участвовали специалисты США, Венгрии, Болгарии, Румынии, Германии, Франции, Польши, Чехословакии, Канады и Китая. Биоспутник фактически стал международной биологической лабораторией в космосе, а в области интеграции сотрудничества разных стран - своеобразным прообразом Международной космической станции.

В целом программа "Бион" была выполнена успешно, хотя почти в каждом полёте возникали



Спускаемый аппарат биоспутника "Бион" с научной аппаратурой

те или иные технические проблемы, требовавшие оперативных решений. Наиболее ярким примером в этом отношении стал 14-суточный полёт биоспутника "Бион-9" в 1989 г. На его борту находились две обезьяны, десять крыс, тритоны, рыбы гуппи, насекомые, одноклеточные организмы и изолированные клетки животных и растений. Началось всё с того, что на вторые сутки полёта вышла из строя система подачи корма одной обезьяне. Сразу же возник вопрос, что делать - прекращать полёт или продолжать его? Победил здравый смысл - полёт продолжили, но увеличили ежедневную норму подачи сока и каждый день внимательно отслеживали состояние этой обезьяны. Удивительно, но на всём протяжении полёта психомоторные тесты обезьяна выполняла успешно, температура её тела и частота сердечных сокращений были в норме. Ежедневное видеонаблюдение за обезьяной не выявило признаков беспокойства.

Однако неприятности на этом не закончились. Спускаемый аппарат биоспутника "Бион-9" из-за нерасчётной по времени работы тормозной двигательной установки совершил посадку в 3.5 тыс. км от заданного района Казахстана, а именно в Якутии, недалеко от г. Мирный. (Кстати, стартовал спутник из района г. Мирный Архангельской области, с космодрома "Плесецк", и приземлился в районе другого Мирного - в Сибири. Такое странное совпадение!) Спускаемый аппарат приземлился в непроходимой тайге, окружающая температура была -25 °С. Из Москвы в адрес Минздрава Якутии и в дислоцированные там войсковые части были направлены срочные телеграммы с просьбой помочь найти спускаемый аппарат и принять меры, чтобы не допустить его обмерзания. В тайге была прорублена просека. Вокруг спускаемого аппарата развели костры, а сам аппарат накрыли солдатскими одеялами. Штатная



Макаки резусы – главные "пассажиры" четырёх биоспутников "Бион"

поисковая группа вместе с исследователями прибыла только через 20 часов после приземления спускаемого аппарата. К счастью, весь его "экипаж", за исключением рыб гуппи, сохранил свою жизнедеятельность. А рыбы гуппи, как известно, погибают при температуре 12-14°C. Это означает, что температура внутри спускаемого аппарата за сутки пребывания на морозе опустилась ниже 12°C.

Обезьяна, которая на всём протяжении 14-суточного полёта голодала, перенесла все тяготы благополучно, но была в очень ослабленном состоянии. Проведённые на месте приземления медицинские мероприятия позволили сохранить обезьяне жизнь. В общем, аварийная ситуация с биоспутником продемонстрировала возможность выживания в экстремальных условиях космического полёта и приземления.

Подготовка и обеспечение полётов обезьян в космос во многом напоминает работу по подготовке и обеспечению космического полёта человека. Естественно, она менее ответственная, но и более сложная, так как целиком и полностью приходилось полагаться лишь на данные автоматических систем жизнеобеспечения и исследовательских приборов.

Полученные при реализации программы "Бион" научные результаты опубликованы в многочисленных статьях и коллективных монографиях. Они настолько обширны, что их невозможно привести в одной журнальной статье. Поэтому мы остановимся на наиболее значимых, на наш взгляд, итогах исследований.

Биологическое действие невесомости. Начнём с результатов изучения таких фундаментальных процессов, как ультраструктура и метаболизм клеток, цикл клеточного деления, передача наследственной информации, частота всех видов спонтанных мутаций, эмбриогенез и онтогенез. Несмотря на некоторую противоречивость полученных результатов, в целом они свидетельствуют об отсутствии повреждающего действия не-

сомости на основополагающие процессы жизнедеятельности [7-9]. По-видимому, не существует каких-либо серьёзных биологических ограничений для продолжительной жизни в условиях невесомости.

Не обнаружено патологических или необратимых изменений в отдельных органах и функциональных системах организма. Однако, с точки зрения земной физиологии, ряд адаптивных изменений в организме в условиях невесомости следует рассматривать как развитие синдрома детренированности или снижения функциональных возможностей организма [10, 11]. В первую очередь это касается мышц, скелета, сердечно-сосудистой системы, нейровестибулярной и сенсомоторной систем.

В мышечной системе крыс и обезьян под влиянием невесомости уменьшалась масса мышц, снижалась сила их сокращений и работоспособность. Эти изменения обусловлены истончением мышечных волокон и миофибрилл, уменьшением числа митохондрий и вакуолизацией их матрикса, снижением содержания сократительных и саркоплазматических белков в мышечных волокнах, некоторым угнетением окислительных и активацией гликолитических процессов, ингибированием пролиферации миосателлитоцитов и трансформацией мышечных волокон в направлении от "медленных" к "быстрым". Указанные изменения наблюдались преимущественно в антигравитационной мускулатуре, в так называемых медленных тонических мышечных волокнах [12, 13]. В экспериментах на обезьянах установлено, что различные мышцы реагируют на условия невесомости функциональными сдвигами, имеющими специфическое время развития и нормализации в период реадaptации к земной гравитации [13, 14].

В костной системе ярко выраженные изменения обнаружены в костях, несущих наибольшую весовую нагрузку на Земле, то есть в длинных трубчатых костях конечностей и позвонках [13, 15]. Эти изменения характеризовались отчётливыми признаками остеопороза (уменьшение костной массы): падением объёмной плотности первичной и вторичной спонгиозы (губчатое вещество кости), сокращением длины трабекул первичной спонгиозы, снижением на 40-50% скорости новообразования кости. Последнее объясняется тем, что уменьшается число и функциональная активность остеобластов - клеток-созидателей костного матрикса - и увеличивается число активных остеокластов - клеток-разрушителей костного матрикса. Одновременно в костной ткани нижних (задних) конечностей и в позвонках были выявлены признаки деминерализации, в частности падение содержания кальция, и

замедление процессов минерализации вновь образующейся кости. Существенно изменилась и структура коллагена костной ткани. Все вышеперечисленные изменения обусловили снижение жёсткости и механической прочности костей в связи с пребыванием в невесомости. Следует отметить также, что процесс заживления нарушенной целостности малой берцовой кости в полёте проходил гораздо медленнее, чем в наземных контрольных условиях [16].

Отчётливые структурно-функциональные изменения в опорно-двигательном аппарате зафиксированы даже в кратковременных (пять-семь суток) полётах. Если продолжительность пребывания в невесомости увеличивалась, изменения в мышцах и костях становились более выраженными [13].

Эксперименты с обезьянами не подтвердили широко распространённого мнения о том, что ощущение повышенного кровенаполнения головы и одутловатости лица у космонавтов в первые дни полёта вызваны увеличенным притоком крови к голове. Скорость кровотока в сонной артерии, центральный объём крови, сердечный выброс, артериальное давление и ЭКГ не претерпевали каких-либо существенных изменений. Внутричерепное давление в невесомости было несколько повышенным, но оставалось в пределах физиологической нормы, признаков нарушения кислородного снабжения мозга не наблюдалось. На основании этих данных высказана гипотеза о затруднении венозного оттока крови от головы и нарушении проницаемости сосудов мягких тканей лица в условиях невесомости, что, по-видимому, и определяет субъективные ощущения у космонавтов [17].

В нейросенсорной системе обезьян выявлены изменения, которые проявляются в увеличении скорости движений глаз, а также в уменьшении амплитуды и скорости поворота головы в сторону зрительной мишени в первые дни полёта, что свидетельствует о нарушении вестибуло-глазодвигательного равновесия в невесомости. Эти функциональные изменения постепенно сглаживались и возвращались к норме на 10-14-е сутки полёта. Уникальные методики с вживлением электродов в популяции нейронов вестибулярной системы мозга, вестибулярные нервы и другие ткани обезьян позволили получить данные, раскрывающие механизмы развития космической формы "болезни движения" и нарушений функции сенсомоторного регулирования в невесомости [18].

Таким образом, исследования на крысах и обезьянах, проведённые на космических аппаратах "Бион", стали существенным вкладом в более глубокое понимание реакций организма на воз-



Подготовка обезьяны к полёту на биоспутнике "Бион"

действие невесомости. Благодаря полученным данным появилась возможность и для строго научного подхода к решению задач медицинского обеспечения космических полётов экипажей. Так, были обоснованы и внедрены рекомендации по средствам профилактики в космических полётах, в частности, методология строго дифференцированного подхода к разработке тренажёров для различных мышц и мышечных групп человека в невесомости. В комплекс физических упражнений, выполняемых экипажами, были включены упражнения, направленные на тренировку тонического компонента мышечных сокращений, что позволило существенно уменьшить продолжительность реабилитационного периода после полётов. Обоснован также комплекс упражнений со статическими нагрузками для поддержания состояния костной ткани человека в условиях невесомости.

На основании выявленных закономерностей в системе вестибуло-глазодвигательного взаимодействия разработаны рекомендации по размещению наиболее важных зрительных целей для



Сотрудники Института медико-биологических проблем Л.В. Серова и М.А. Чельная с крысами, которые вернулись из космоса

космонавта-оператора в центральной зоне поля зрения, показана нецелесообразность предъявления космонавтам в первые сутки полёта требований высокой точности движений рук, головы и глаз при работе с системами космического корабля. Соответствующие рекомендации направлены разработчикам космической техники. Внесены некоторые изменения и в методику подготовки космонавтов.

Ещё раз отметим уникальность проведённых на обезьянах экспериментов в космосе. Коллектив биологов и инженеров сделал то, что ни сейчас, ни в ближайшем будущем в силу многих причин повторить не удастся. Во всяком случае, в ближайшем десятилетии столь масштабные полётные эксперименты с обезьянами вряд ли будут проведены.

Комбинированные биологические эффекты невесомости и ионизирующей радиации. Одна из актуальных задач космической биологии и медицины - обеспечение радиационной безопасности полётов человека в космос. Решению этой задачи уделяли большое внимание уже в первых экспериментальных полётах животных на ракетах в верхние слои стратосферы. С созданием искусственных спутников Земли, особенно в период, предшествовавший первому полёту человека в космос, интенсивность радиобиологических исследований резко возросла. И это понятно, ведь

космическая радиация считалась в те годы почти непреодолимым барьером. И только благодаря экспериментальным исследованиям, проведённым в конце 1950-х - начале 1960-х годов В.В. Антиповым, Я.Л. Глембоцким, А.А. Гюрджианом, Г.П. Парфёновым, А.А. Прокофьевой-Бельговской, В.С. Шашковым, удалось показать, что космическая радиация на высотах до 350 км не представляет серьёзной опасности для земных организмов. И действительно, многочисленные относительно кратковременные полёты космонавтов на кораблях "Восток", "Восход" и "Союз" не выявили каких-либо отклонений в исследуемых медико-биологических параметрах, которые можно было бы объяснить воздействием радиации.

Однако после первых успешных пилотируемых полётов интерес к космической радиобиологии не уменьшился, наоборот, проблема как бы заново была переосмыслена. Задачи этого направления стали менее глобальными и более конкретными. Предстояло оценить возможное модифицирующее влияние невесомости на радиопоражаемость и пострadiационную репарацию, изучить биологические эффекты различных видов космической радиации, экспериментально обосновать нормативы радиационной безопасности для полётов человека на Луну и многомесячных орбитальных космических полётов. Знаменательной вехой в истории космической биологии стало успешное проведение радиобиологического эксперимента с крысами на биоспутнике "Бион-2" в 1974 г.

Известно, что 60-е и 70-е годы прошлого века были годами не только космической, но и военной гонки двух сверхдержав - СССР и США. В то время, правда, не говорили и не писали о звёздных войнах, но и вероятность войны с применением ядерного оружия отнюдь не исключалась. Когда Институт медико-биологических проблем приступил к подготовке программы радиобиологического эксперимента с млекопитающими на биоспутнике "Бион-2", рассматривались два основания для его проведения: мощная солнечная вспышка во время орбитального полёта с облучением космонавтов и пролёт космического корабля с экипажем через зону ядерного взрыва с возможным облучением космонавтов.

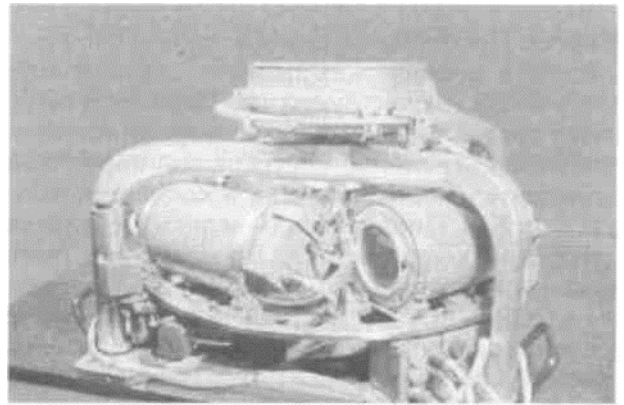
В ходе планируемого радиобиологического эксперимента предстояло оценить возможное модифицирующее влияние невесомости на радиочувствительность организма млекопитающих и выявить специфику формирования лучевого поражения в условиях космического полёта. В качестве основных объектов исследований были выбраны крысы линии Вистар. Для радиобиологического эксперимента с крысами были созданы бортовой облучатель, дозно-выравнивающие фильтры и аппаратура содержания и жизнеобеспечения

животных. Однако специфику предстоящему полёту придавал бортовой облучатель с источником гамма-излучения цезий-137 активностью 320 Ки. Источник размещался в сферическом контейнере из вольфрамового сплава с принудительным, по команде с Земли, открытием и закрытием створок. Конструкция контейнера исключала всякую возможность самопроизвольного открытия створок при воздействии вибраций, ускорений и ударов. Кстати, в связи с существовавшей в те годы угрозой ядерной войны действовало международное соглашение о том, что страны обязаны объявлять о запусках космических аппаратов с ядерными источниками на борту. СССР выполнил это соглашение применительно к нашему проекту, тем более что незадолго до того советский ИСЗ с "необъявленной" ядерной двигательной установкой совершил аварийную посадку в Канаде, что вызвало серьёзные дипломатические осложнения.

В предстоявшем полётном эксперименте предстояло решить и другую важную задачу - обеспечить на борту биоспутника равномерность дозного поля при облучении двух групп животных. После проведения соответствующих расчётно-проектных исследований были изготовлены из стали дозно-выравнивающие фильтры, обеспечивавшие равномерность облучения животных в пределах $\pm 10\%$.

Полётный радиобиологический эксперимент с крысами продолжался 20,5 суток. На десятые сутки пребывания животных в условиях невесомости бортовой источник гамма-излучения был переведён из положения "хранение" в положение "облучение". В течение 24 часов первая группа крыс (25 особей) получила дозу облучения 800 ± 80 сГр, а вторая группа (10 особей) - дозу 220 ± 20 сГр. Дозное поле определялось с помощью тканезквивалентных ионизационных камер и термомюнисцентных дозиметров на основе фтористого лития. Оперативный контроль за радиационной обстановкой на борту биоспутника во время полёта осуществлял бортовой дозиметр Д-2.

Лучевое поражение в организме крыс развивалось в течение последующих десяти суток пребывания животных в условиях невесомости. После окончания полёта животных обследовали в два этапа: на первые-вторые сутки и на 36-37-е сутки после облучения. Проводились комплексные морфологические и биохимические исследования всех органов и тканей. Особое внимание уделялось оценке состояния системы кроветворения. Весь последующий анализ строился на сравнении результатов исследований радиочувствительности животных в условиях невесомости и земной гравитации.



Бортовая центрифуга, на которой проводились эксперименты с крысами в условиях искусственной силы тяжести в полёте биоспутника "Бион"

Полученные результаты показали, что острое радиационное воздействие в условиях невесомости не привело к качественно новым радиобиологическим эффектам по сравнению с облучением в наземных условиях и существенному изменению радиочувствительности млекопитающих. Коэффициент модифицирующего влияния невесомости на радиочувствительность млекопитающих по большинству исследованных параметров был близок к 1 и лишь по отдельным параметрам системы кроветворения составлял 1.2 [19].

Эти результаты явились важным научным вкладом в копилку знаний о влиянии факторов космического полёта и космического пространства на организм. Помимо этого, они в своё время были использованы для обоснования такого документа, как Временные нормы радиационной безопасности для экипажей при космических полётах длительностью до одного года (ВНРБ-75).

Значение радиобиологического эксперимента с крысами на биоспутнике "Бион-2" выходит за рамки того исторического периода, когда он готовился и осуществлялся. В настоящее время, когда в нашей стране и за рубежом пробуждается интерес к полётам человека на Луну и Марс, проблема радиационной безопасности вновь становится одной из ключевых в ряду научно-технических задач, требующих первоочередного решения. В этой связи российские специалисты возвращаются к анализу методологии проведения полётного радиобиологического эксперимента с крысами и полученных результатов. Они планируют в одном из полётов биоспутника новой серии "Бион-М" изучить с помощью бортового облучателя комбинированное воздействие на организм условий длительной невесомости и ионизирующей радиации в дозах, характерных для межпланетных полётов.

Биологические эффекты искусственной силы тяжести. Проблема создания искусственной силы тяжести в космических полётах давно волнует умы учёных и конструкторов. Первым, кто высказал предположение о целесообразности её создания как средства обеспечения нормальной жизнедеятельности человека в космическом полёте был К.Э. Циолковский - великий мыслитель и теоретик космонавтики. Впоследствии разработкой этой идеи занимались многие специалисты СССР, США и в настоящее время - России. Основная цель этих исследований применительно к космической медицине - поиск минимально эффективных величин искусственной силы тяжести, достаточных для того, чтобы предотвратить развитие неблагоприятных изменений в организме в условиях космического полёта. Применительно к задачам космической и гравитационной биологии, проблема создания искусственной силы тяжести в космическом полёте представляется более многоплановой. Прежде всего это инструмент для изучения гравитационной чувствительности различных процессов жизнедеятельности у организмов, стоящих на разных уровнях эволюционного и онтогенетического развития. Другой аспект экспериментов с искусственной силой тяжести в космических полётах - создание на борту космического аппарата синхронного гравитационного контроля по отношению к биологическим экспериментам, проводимым в условиях невесомости.

В программе научных исследований на биоспутниках "Бион-3, -4, -10, -И" большое место отводилось экспериментам с бортовыми центрифугами, создававшими на всём протяжении полёта искусственную силу тяжести 1 g. (Эти первые в мире эксперименты до сих пор полностью не были воспроизведены в других космических полётах.) Наряду с изучением влияния невесомости в этих экспериментах исследовались биологические эффекты искусственной силы тяжести в контрольной группе биообъектов, которые подвергались воздействию всех факторов космического полёта, но находились в поле искусственной силы тяжести 1g. Такой бортовой гравитационный контроль рассматривался большинством специалистов как идеальный и его использовали при анализе физиологического действия невесомости. Однако в космическом полёте стояла и другая, не менее важная задача - оценить физиологическую адекватность земной и искусственной силы тяжести величиной 1g.

Уникальным признан эксперимент, когда крысы в течение 18.5 суток полёта вращались на центрифуге, создающей в зоне обитания животных силу тяжести величиной 1g [20]. При анализе результатов этого эксперимента, проведённого на

биоспутнике "Бион-4" в 1977 г., основное внимание было уделено состоянию мышц и костной системы, то есть гравитационно-зависимым системам организма млекопитающих [16]. Было установлено, что искусственная сила тяжести величиной 1 g, создаваемая в космическом полёте вращением биообъектов на бортовых центрифугах, по большинству исследованных биологических и физиологических параметров адекватна естественной (земной) силе тяжести. Следовательно, искусственную силу тяжести можно рассматривать как перспективное средство поддержания оптимального функционального состояния организма в космическом полёте. Одновременно было обнаружено, что некоторые физиологические, морфологические и биохимические параметры у биообъектов, находившихся в поле искусственной силы тяжести величиной 1g и в условиях земной силы тяжести, существенно отличаются друг от друга. На наш взгляд, здесь сказывается влияние специфических факторов космического полёта (ускорения, вибрации, космическая радиация, факторы среды обитания) на биообъекты. В условиях земной силы тяжести эти факторы отсутствуют. Некоторые различия, в первую очередь в мышцах, костной системе и миокарде, у животных, находившихся в условиях искусственной и естественной силы тяжести, обусловлены техническими особенностями бортовых центрифуг (зона обитания животных, малый радиус вращения -33 см, большая скорость вращения - 54 об/мин, ускорения Кориолиса и прецессионные, микровибрации и шум мотора при вращении центрифуг).

В настоящее время рассматривается возможность проведения эксперимента с искусственной силой тяжести на биоспутниках новой серии "Бион-М". Основная задача этого эксперимента - изучение биологических эффектов искусственной силы тяжести в интересах будущих полётов человека на Луну и Марс.

В программе "Бион-М", которая является логическим развитием программы "Бион", предстоит углубиться в изучение особенностей жизнедеятельности в космосе на молекулярно-биологическом и молекулярно-генетическом уровнях. Такого веле-ние времени, и это путь к решению проблемы целенаправленного управления процессами жизнедеятельности в экстремальных условиях среды обитания. Как и в прежние годы, космической биологии предстоит решение многих прикладных задач, связанных с обоснованием и выбором новых подходов к созданию эффективных средств профилактики неблагоприятного действия факторов космического полёта и космического пространства на организм человека [22].

И, наконец, на новой серии биоспутников, запуск которых предусмотрен Федеральной косми-

ческой программой России на 2005-2015 гг., это будут не только исследования в интересах дальнейшего освоения космоса. Это также и космические биологические лаборатории для решения одной из кардинальных проблем биологии - роли гравитации как постоянного экологического фактора во всех проявлениях жизни на Земле - от молекулярного уровня до организма в целом. Представляется, что помимо общенаучной значимости решение проблемы гравитационной биологии поможет медицине в лечении гипертонии, детренированности сердечно-сосудистой системы, мышечных атрофии, травматических повреждений костей и остопороза. Ещё на заре космической эры наши выдающиеся ученые Н.М. Сисакян, О.Г. Газенко и А.М. Генин отметили, что "развитие космической биологии послужит не только целям межпланетных путешествий и освоению человеком космоса. В перспективе космическая биология будет способствовать построению наиболее общих концепций биологии, касающихся проблемы жизни вообще" [2, с. 26]. Эти слова оказались пророческими.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сисакян Н.М., Ларин В.В., Черниговский В.Н., Яздовский В.И. Некоторые проблемы изучения и освоения космического пространства // Проблемы космической биологии. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 5-16.
2. Сисакян Н.М., Газенко О.Г., Генин А.М. Проблемы космической биологии // Там же. С. 17-26.
3. Газенко О.Г., Яздовский В.И., Черниговский В.Н. Медико-биологические исследования на искусственных спутниках Земли // Там же. С. 285-288.
4. Балаховский И.С., Газенко О.Г., Гюрджян А.А. и др. Результаты исследований на спутнике // Там же. С. 359-370.
5. Парин В.В., Правецкий В.Н., Туровский Н.Н. и др. Некоторые итоги медико-биологического эксперимента на биоспутнике "Космос-ПО" // Космическая биология и медицина. 1968. № 5.
6. Павлов И.П. Поли. собр. соч. Т. П. Кн. 2. М.-Л.: Изд-во АН СССР. С. 279.
7. Парфёнов Г.П. Невесомость и элементарные биологические процессы // Проблемы космической биологии. Л.: Наука, 1988.
8. Серова Л.В. Онтогенез млекопитающих в невесомости. М.: Наука, 1988.
9. Сюза К.А., Ильин Е.А. Основные результаты биологических исследований в космосе // Космическая биология и медицина. Кн. 1. Человек в космосе (совм. российско-американское издание). Т. 3. М.: Наука, 1997.
10. Газенко О.Г., Ильин Е.А., Парфёнов Г.П. Биологические исследования в космосе (некоторые итоги и перспективы) // Известия АН СССР. Сер. биол. 1974. № 4.
11. Григорьев А.И., Попова И.А., Капланский А.С. Минимализация функции регуляторных систем и обмена веществ в невесомости // Авиакосмическая и экологическая медицина. 1993. № 5-6.
12. Ильина-Какуева Е.И., Капланский А.С. Атрофия мышц в условиях микрогравитации и при ее моделировании // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2005. № 5.
13. Morey-Holton E., Globus R.K., Kaplansky A., Durnova G. The Hindlimb Unloading Rat Model: Literature Overview, Technique Update and Comparison with Space Flight Data // Advances in Space Biology and Medicine. V. 10 Experimentation with Animal Models in Space / Elsevier, 2005.
14. Шенкман Б.С., Белозёрова И.Н., Ли П. и др. Влияние невесомости и ограничения подвижности на структуру и метаболизм m. Soleus у обезьян после космического полёта // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2002. № 3.
15. Оганов В.С., Шнайдер В.С. Костная система // Космическая биология и медицина. Кн. 1. Человек в космическом полёте (совм. российско-американское издание). Т. 3. М.: Наука, 1997.
16. Ильин Е.А., Капланский А.С., Савина Е.А. Эксперименты с крысами на биоспутниках "Космос": морфологические и биохимические исследования // Космическая биология и медицина. 1989. № 4.
17. Кротов В.П., Сандлер Г., Магедов В.С. и др. Гемодинамика у обезьян в начальном периоде адаптации к невесомости // Космическая биология и медицина. 1988. № 5.
18. Kozlovskaya I.B., Grindeland R.E., Viso M., Korolkov V.I. Bion 11 science objectives and results // Journ. of Gravitational Physiology. 1998. № 1.
19. Григорьев Ю.Г., Дружинин Ю.П., Вериго В.В., Ильин Е.А. Основные задачи и результаты радиобиологических экспериментов на борту биоспутника "Космос-690" // Космическая биология и медицина. 1977. № 5.
20. Ильин Е.А., Корольков В.И., Котовская А.Р. и др. Задачи и условия проведения физиологических экспериментов с крысами на биоспутнике "Космос-936" // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1979. № 6.
21. Газенко О.Г., Григорьев А.И., Егоров А.Д. Космическая медицина вчера, сегодня, завтра // Наука в России. 2006. № 3.