

**Государственный научный центр РФ Институт медико-биологических проблем
Российской академии наук**

6. Результаты научных исследований, полученные российскими учеными и специалистами в ходе реализации летных научных программ на борту МКС:

В 2014-2015 годах успешно выполнены работы по реализации медико-биологического обеспечения в период МКС 37/38, МКС-38/39, МКС-39/40, МКС-40/41, МКС 41/42 и МКС-42/43, МКС-43/44, МКС 44/45, а также 10- суточного полета казахстанского космонавта в период МКС 45/46. .

В результате выполнения научных медико-биологических исследований и экспериментов получен научный материал необходимый, как решения фундаментальных проблем космической биологии и медицины, так и для дальнейшего совершенствования медицинского обеспечения пилотируемых полетов.

Проведены работы по подготовке годового полета в период экспедиций МКС 43-46 (старт март 2015 г.), целями которого являются совершенствование медицинского обеспечения длительных космических полетов, в том числе полетов к другим планетам (Марсу) и получение необходимых научных материалов по исследованиям механизмов адаптации систем организма человека к условиям сверхдлительного космического полета.

В рамках фундаментальных биологических исследований проведены эксперименты **«Биосигнал»**, **«Регенерация-1»**, **«Полиген»**.

В эксперименте **«Биосигнал»**, посвященном изучению влияния микрогравитации на внутриклеточные характеристики функционального состояния клетки проведено три сеанса эксперимента на МКС из пяти запланированных, получено большое количество экспериментальных данных. Так как прибор регистрирует данные каждые 5 минут, за один полет производится около 25 тыс. измерений. Предварительные данные

свидетельствуют о хорошей сохранности клеток и высоком уровне флуоресценции. Хотя условия космического полета существенно не влияют на систему pH-регуляции, изменяется секреция некоторых интерлейкинов - веществ, участвующих в иммунном ответе. Для выяснения причин и механизмов этого изменения необходимо продолжать такие исследования.

Разработанный прибор «Флюор-К» (рис. 1) возможно использовать с различными клетками человека, клеточными органеллами, микроорганизмами. Так как сейчас существует огромный выбор флуоресцентных зондов, то с помощью данного прибора можно исследовать любые параметры и характеристики отдельных клеток на всех этапах космического полета. На основе данного метода можно разработать миниатюрные приборы, позволяющие проводить флуоресцентные исследования любых клеток в условиях космического полета, а также на Земле в условиях передвижных лабораторий и исследовательских экспедиций.



Рис. 1 - Внешний вид прибора «Флюор-К».

В исследованиях влияния различных факторов космического полета на процессы регенерации у биообъектов по морфологическим и электрофизиологическим показателям (эксперимент «Регенерация-1») была установлена сохранность регенерационной способности животных организмов

в невесомости (рис. 2). Полученные результаты свидетельствуют о том, что отсутствие силы тяжести не является лимитирующим фактором для реализации механизмов регенерации. Эти данные могут быть полезны при разработке стратегии медицинского обеспечения длительных пилотируемых космических полетов.



Рис. 2 - Регенерация у Планарий А – перед полетом расчлененная на два фрагмента планария, Б – в полете регенерация головы и В – регенерация хвостовой части. 23-суточный космический эксперимент.

У контрольных улиток, прооперированных и содержащихся в лабораторных условиях, регенерировавшие глазные щупальца, как и у полетных улиток, были заметно меньше нормальных глазных щупалец (рис. 3).

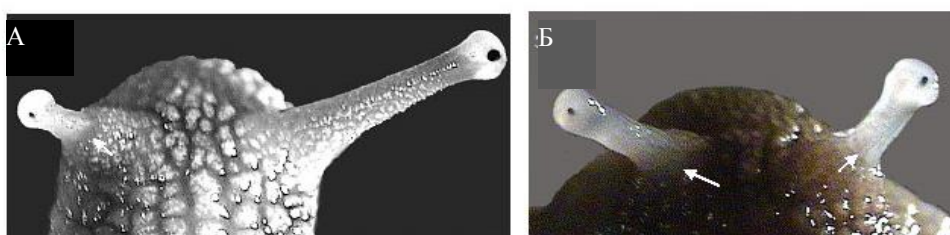


Рис. 3 - Регенерация глазных щупалец у полетных улиток. А - правое нормальное, левое регенерировавшее глазное щупальце, Б – регенерация обоих глазных щупалец. Стрелками отмечены границы отсечения глазных щупалец и отрастания регенератов. 163-суточный космический эксперимент.

У полетных улиток на месте удаленного участка ноги выявлялись регенераты, по внешнему виду не отличающиеся сколько-нибудь заметно от

регенератов наземных контрольных улиток, но заметно уступали регенератам ноги улиток, которые имели свободный доступ к корму и воде (Рис. 4).

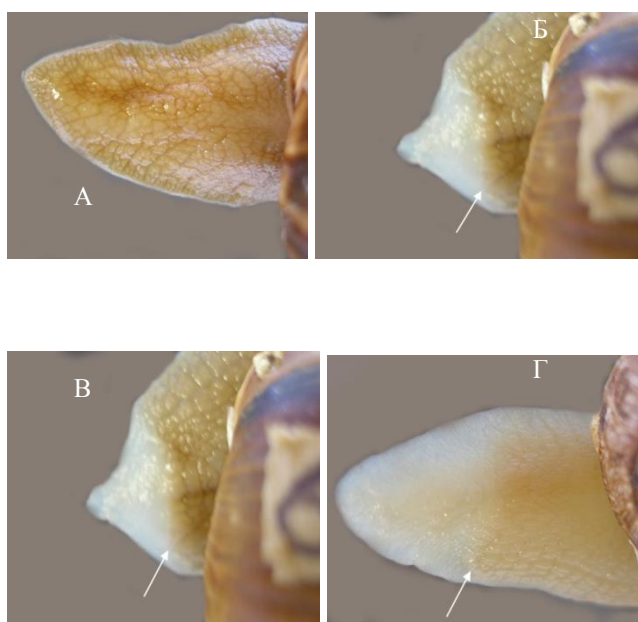


Рис. 4 - А – нога улитки до ампутации, Б – регенерат ноги у полетной улитки, В – регенерат ноги у контрольной улитки, Г – регенерат ноги у кормящей улитки. Стрелками отмечены границы отсечения задней части ноги и отрастания регенерата. 163-суточный космический эксперимент.

Исследованиям, направленным на выявление генетических особенностей, определяющих индивидуальные различия в устойчивости биологических объектов к факторам длительного космического полета (исследования на плодовой мушке *Drosophila melanogaster*) посвящен эксперимент «Полиген» (рис. 5).



Рис. 5 – Борт-инженер МКС-44/45 О.Д.Кононенко проводит деактивацию укладки в КЭ «Полиген».

Результаты исследований, выполненных по программе эксперимента «**Полиген**», свидетельствуют о различиях устойчивости популяций/линий *D. melanogaster* к мутагенному воздействию условий космического полета. Наблюдаемые эффекты в большой степени зависят от стадии индивидуального развития дрозофил в период воздействия неблагоприятных условий, сопутствующих космическому полету. В дальнейших исследованиях целесообразно дополнительно к методам определения доминантных летальных мутаций использовать тесты на двунитевые разрывы ДНК, а экспериментальные популяции характеризовать по активности ферментных систем, обеспечивающих репарацию ДНК и инактивацию токсичных соединений.

Не исключено, что хромосомные нарушения, образующиеся у человека во время космического полета, также могут быть обусловлены средовыми факторами, воздействующими на организм совместно с невесомостью и повышенными уровнями ионизирующего излучения. В этом случае результаты исследований генотоксического воздействия условий космического полета на дрозофил могут использоваться в целях биоиндикации условий обитания на пилотируемых космических объектах, а изучение мутационного процесса у дрозофил, находящихся в условиях космического полета, может способствовать развитию исследований механизмов хромосомных нарушений во время космического полета человека.

Помимо чисто биологических экспериментов определенное место отводилось и исследованиям области космической микробиологии (эксперименты «**Хроматомасс-спектр М**», **Пародонт-2**).

Исследования микробиологического статуса космонавтов с использованием метода хроматомасс-спектрометрии (эксперимент «**Хроматомасс-спектр М**») и хемодифференциации микробных маркеров были проведены с целью расширения видового/родового диапазона комменсальной

и условно-патогенной аутомикрофлоры человека, трудно культивируемую классическим бактериологическим методом, включая анаэробную микрофлору при воздействии измененных условий обитания и возможности внедрения в практику космической медицины оперативного метода оценки микробиологического статуса человека (рис. 6).

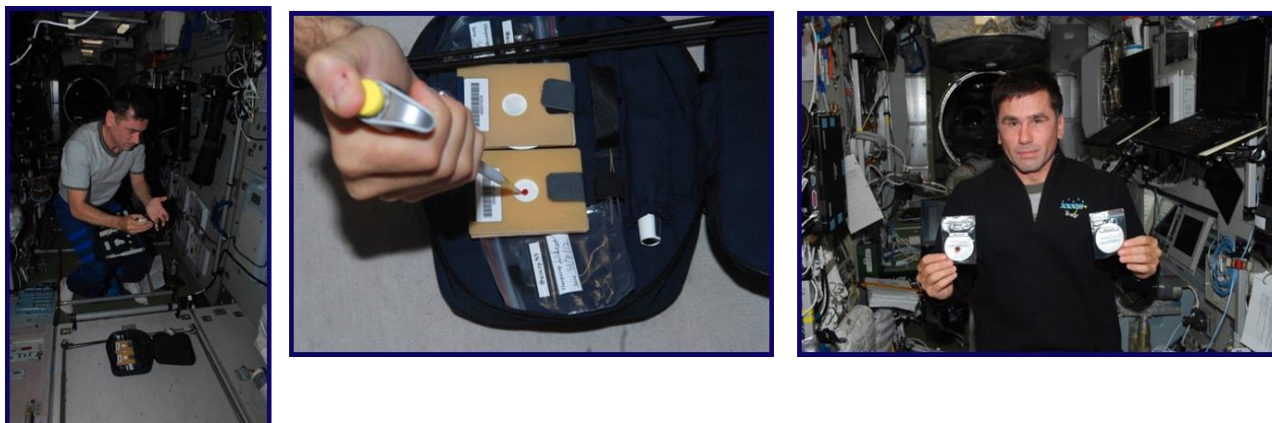


Рис. 6 - Проведение эксперимента «Хроматомасс-спектр М» космонавтом Ю.И. Маленченко.

Из числа микроорганизмов, количественно прореагировавших на условия длительной изоляции доминирующую группу составили: *Streptococcus* (оральные), *Nocardia asteroides*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Propionibacterium*, *Clostridium propionicum*, Актиномицеты, *Clostridium ramosum*, *Helicobacter pylori*, *Herpes*, *Clostridium 12:0group* при сильном дефиците *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Propionibacterium*/Cl. Subterminale и *Eubacterium*, что характерно для дисбиотических изменениях в кишечнике. *Rhodococcus*, *Candida*, сем. Enterobacteriaceae (*E.coli* и пр.) находились в норме. Проведенные исследования показали, что мониторинг микробных маркеров в биологических жидкостях (кровь и слюна) методом хемодифференциации по микробным маркерам является средством эффективного количественного контроля максимально возможного числа доминантных анаэробов, актинобактерий, грибов и вирусов в одном анализе, характеризующих микробиологический статус человека. Количественный анализ видового состава указанных микроорганизмов позволил оперативно выявлять нарушения микробиоценоза

организма в результате стрессовых воздействий полета и определить профилактические мероприятия на предполетных и послеполетных этапах.

Результаты космического эксперимента **«Хроматомасс-спектр М»** позволили дать оценку качественного и количественного состава широкого круга микроорганизмов – представителей комменсальной и условно-патогенной микрофлоры человека и определить методику и оснастку для последующего рутинного контроля микробиологического и инфекционного статуса космонавтов на всех этапах полетной миссии.

Исследованию состояния тканей пародонта в условиях космического полета посвящен эксперимент **«Пародонт-2»**. Полость рта взрослого человека может содержать от 160 до 300 видов микроорганизмов, включая бактерии (спирохеты, риккетсии, кокки и др.), грибы (в том числе актиномицеты), простейшие, вирусы. Основными представителями естественной микрофлоры (стабилизирующими видами микроорганизмов) являются: стрептококки, вейллонеллы и нейссерии, коринебактерии, лактобактерии. Значительную часть всех микроорганизмов полости рта составляют анаэробные виды.

Было отмечено, что во время длительного орбитального полета у космонавтов происходят существенные изменения качественного (видового) и количественного состава микрофлоры полости рта, вызванные, по всей видимости, снижением местного иммунитета. Во время пребывания на орбите у космонавтов появляются бактерии, которые в норме в полости рта не встречаются или встречаются в незначительном количестве, увеличивается количество представителей грибов рода кандиды, что свидетельствует об ослаблении организма, снижении иммунной резистентности. После полета растет число представителей видов, патогенных для пародонта (возможно, начинается этот процесс ещё во время полёта); у половины космонавтов сохраняется увеличение обсеменённости дрожжеподобными грибами.

Способствовать сбалансированности микрофлоры пародонта и обеспечить профилактику воспалительных процессов могут препараты-пробиотики местного применения. Был разработан пробиотик, представляющий собой лиофилизированные лактобациллы в коллагене. Этот препарат имеет форму пародонтальной повязки (рис. 7). Она должна накладываться на ткани пародонта. Эта повязка успешно испытывалась в ГНЦ РФ - ИМБП РАН в

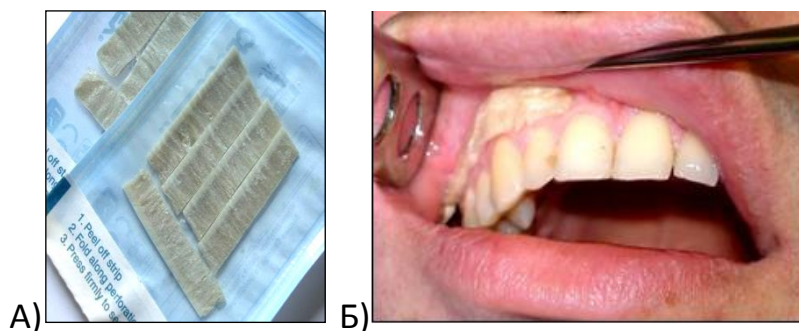


Рис. 7 - Пародонтальная повязка. А) Внешний вид, Б) Фиксация пародонтальной повязки на поверхности пародонта.

наземных экспериментах с участием человека для нормализации микрофлоры полости рта и профилактики заболеваний пародонта. Предварительные результаты показали, что это средство достаточно эффективно. Быстро и существенно снижалась частота выделения пародонтопатогенных видов бактерий, почти полностью исчезали дрожжеподобные грибы. Состав стабилизирующей микробной флоры полости рта (коринебактерии, стрептококки и вейллонеллы) постепенно нормализовался. Это служит основанием для рекомендации пародонтальной повязки для включения в состав бортовых аптечек РС МКС.

В настоящий момент исследования продолжаются. Накопление массива данных даст возможность подтвердить эффективность использования бортовой укладки и пародонтальной повязки для контроля микрофлоры полости рта, профилактики и лечения заболеваний пародонта. Разработанная бортовая укладка для контроля состояния микрофлоры зубочелюстной

системы и пробиотическая пародонтальная повязка могут стать составляющими стоматологического комплекса, предназначенного для своевременной профилактики и эффективного лечения заболеваний полости рта как в космосе, так и на Земле.

В рамках национальной научной программ программы а области космической физиологии проводились исследования, связанные с воздействием факторов космического полета на сердечно-сосудистую и дыхательную систему (эксперименты **«Биокард»**, **«Кардиовектор»**, **«Космокард»**, **«УДОД»**), сенсо-моторную функцию (эксперименты **«Виртуал»**, **Мотокард»**)

С момента появления пилотируемой космонавтики большое значение придавалось изучению физиологии человека в условиях невесомости. Одно из первых мест в большом объеме программы по изучению влияния условий микрогравитации на организм человека традиционно отводится исследованию сердечно-сосудистой системы космонавтов во время полётов. Одним из основных направлений этих исследований является изучение биоэлектрической активности сердца. Эксперимент **«Биокард»** направлен на исследование электрофизиологических свойств и особенностей перестройки работы сердца при функциональном воздействии с приложением отрицательного давления на нижнюю половину тела (ОДНТ) с использованием ЭКГ в 12-ти отведениях».

Кроме того, многолетние наблюдения за динамикой ЭКГ в 12-ти отведениях, зарегистрированных во время полета в покое, выявили, что наиболее характерной особенностью ЭКГ в условиях длительного пребывания человека в невесомости, являются изменения реполяризации желудочков.

Впервые эксперимент был проведен экипажем МКС 41\42 Самокутяевым А.Н., Серовой Е.О. и продолжен экипажем МКС 42\43 - Шкаплеровым А.Н. Планируется, что последующие экипажи продолжат эксперимент на борту МКС,

так как для получения статистически достоверных данных необходимо большее количество обследованных. В настоящее время идет обработка полученных данных.



Рис. 8 - Космонавт Елена Серова проводит эксперимент «Биокард» на борту МКС.

Полученные новые результаты позволят в целом дополнить и расширить информацию о функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы космонавтов на разных этапах длительных космических полётов. Специалисты смогут уточнить, по каким механизмам происходит ответная реакция левых и правых (что очень важно в диагностическом плане) отделов сердца на перераспределение крови в условиях невесомости и моделированных условий гравитации. В результате, будут усовершенствованы диагностические возможности медицинского контроля за состоянием здоровья космонавтов. Врачи смогут более эффективно и своевременно выявлять возможные неблагоприятные изменения электрофизиологических свойств миокарда, обоснованно их прогнозировать и предупреждать при необходимости. Кроме того, будут разработаны рекомендации по предотвращению таких изменений. Очевидно, что эти данные будут полезны для применения не только в космической медицине, но и в практике здравоохранения на Земле.

Вместе с тем до сих пор не исследован вопрос об изменениях нагрузки на правые и левые отделы сердца в условиях невесомости. Известно, что в легочных сосудах в 1-й месяц космического полета давление статистически значимо растет. Со 2-3-го месяцев полета левое сердце активно включается в поддержание сердечно-сосудистого гомеостаза. Наконец, на 5–6-м месяцах полёта одновременно растут ударный объём и давление в лёгочной артерии, а значит, в адаптационном процессе активно участвуют и левый, и правый желудочки. Для изучения сократительной функции правого и левого желудочков, а также механизмов их адаптации к новым условиям используется метод баллистокардиографии. В основе метода – регистрация микроколебаний тела, вызванных перемещением крови из сердца в крупные сосуды. Возникающий во время систолы эффект отдачи (как при стрельбе из орудия), так называемый баллистический эффект, дал название методу баллистокардиографии. Но на Земле запись пульсовых перемещений тела искажается из-за эффектов трения и демпфирования (от связи с опорой). Это сильно влияет на точность и корректность получаемых данных. Невесомость – идеальная среда для баллистокардиографических исследований, так как космонавт может плавать, не касаясь какой-либо опоры. В условиях невесомости при каждом сердечном сокращении происходит свободное перемещение тела в соответствии со 2-м законом Ньютона. Этот закон утверждает, что тело в инерциальных системах приобретает ускорение прямо пропорциональное силе, которая на него действует и обратно пропорциональное массе тела. Поэтому с первых шагов космической медицины ученые стали думать о возможности проведения баллистокардиографических исследований в условиях невесомости.

В космическом эксперименте **«Кардиовектор»**, который был начат на Международной космической станции в сентябре 2014 года, пространственная баллистокардиограмма регистрируется по шести осям (три линейных оси и три

оси вращения). Одна из центральных задач эксперимента – оценка влияния условий невесомости на энергетику сердечного сокращения. На рисунке 9 представлен общий вид прибора «Кардиовектор» и дана схема крепления прибора на поясе и размещения электродов и датчиков на теле космонавта.

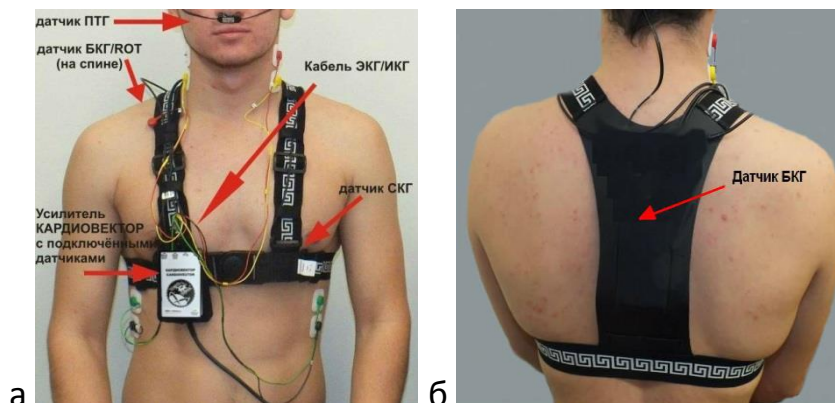


Рис. 9 - Общий вид прибора «Кардиовектор». Размещение датчиков и электродов на обследуемом (а); фиксация датчика пространственной баллистокардиограммы (б)

Космический эксперимент **«Кардиовектор»** является логическим продолжением многочисленных попыток использования метода баллистокардиографии для изучения сократительной функции сердца в условиях космического полета. Этот метод позволяет проводить изучение особенностей работы сердца в полете, но также может использоваться в дальнейшем как чувствительный и надежный индикатор риска сердечнососудистых нарушений после полета. Этот метод позволяет надежно контролировать процесс послеполетного восстановления функций сердечнососудистой системы. В эксперименте впервые в мире получены записи баллистокардиограммы вращения (ротационные баллистокардиограммы). Ротационная баллистокардиография может рассматриваться как метод оценки смещения центра масс тела. Это позволит количественно оценить массу крови, перемещающуюся в верхние отделы тела в условиях невесомости и, таким образом, контролировать процессы разгрузки

малого круга кровообращения и мозговых сосудов в результате применяемых в ходе полета мер профилактики.

Развитие этого метода и разработка количественных критериев измерения изменений положения центра масс тела в условиях невесомости - задача дальнейших исследований с активным участием специалистов по биофизике и биомеханике.

До последнего времени основное внимание специалистов по космической медицине было направлено на изучение периферического кровообращения, т.е. движения крови по капиллярам, артериолам, мелким артериям, мелким венам, венулам и т.д. Однако при этом забывали о сердце - главном органе, ответственном за перемещение крови в сосудистой системе. Вместе с тем, известно, что у каждого третьего космонавта в полете или после полета отмечаются аритмии и, нередко, весьма выраженные. Также хорошо известно о снижении амплитуды зубцов электрокардиограммы (ЭКГ) во время космического полета.

Именно поэтому с сентября 2014 года на борту Международной космической станции (МКС) проводится космический эксперименте **«Космокард»**. В нем традиционная запись ЭКГ в трех отведениях сопровождается использованием ряда новых методических подходов, которые позволяют получать дополнительную уникальную информацию о функциональном состоянии сердечной мышцы (миокарда). Во-первых, регистрация ЭКГ проводится в течение 24-х часов, что позволяет оценить процессы адаптации сердца к суточным изменениям режима труда и отдыха членов экипажа. Во-вторых, детальная оценка механизмов адаптации проводится на основе применения методов анализа вариабельности сердечного ритма. В- третьих, для оценки энергетических и обменных процессов в миокарде используется метод дисперсионного картирования электрокардиограммы (ДК ЭКГ).

Целью эксперимента является получение новой научной информации об изменениях электрофизиологических характеристик миокарда и их взаимосвязи с вегетативной регуляцией кровообращения. Это позволит углубить представления о механизмах адаптации организма к условиям космического полета. Кроме того, эти научные результаты могут послужить важной информацией для решения прикладных задач, связанных с повышением эффективности системы медицинского контроля, оценкой функционального состояния членов экипажей, прогнозированием переносимости физических и психоэмоциональных нагрузок в космическом полете и сразу после возвращения космонавтов на Землю.

В эксперименте участвуют только российские члены экипажей МКС. Эксперимент проводят до полета, в полете и после полета. Используется прибор «Космокард», позволяющий регистрировать электрокардиограмму в 2-х отведениях (рис. 10) и который работает совместно с бортовым компьютером.

Первые результаты космического эксперимента «Космокард» показывают, что используемые методы достаточно информативны. Сочетание исследований вегетативной регуляции кровообращения с изучением суточной динамики энергетических процессов в сердце позволяет получать комплексные данные, взаимосвязанные причинно-следственными отношениями.

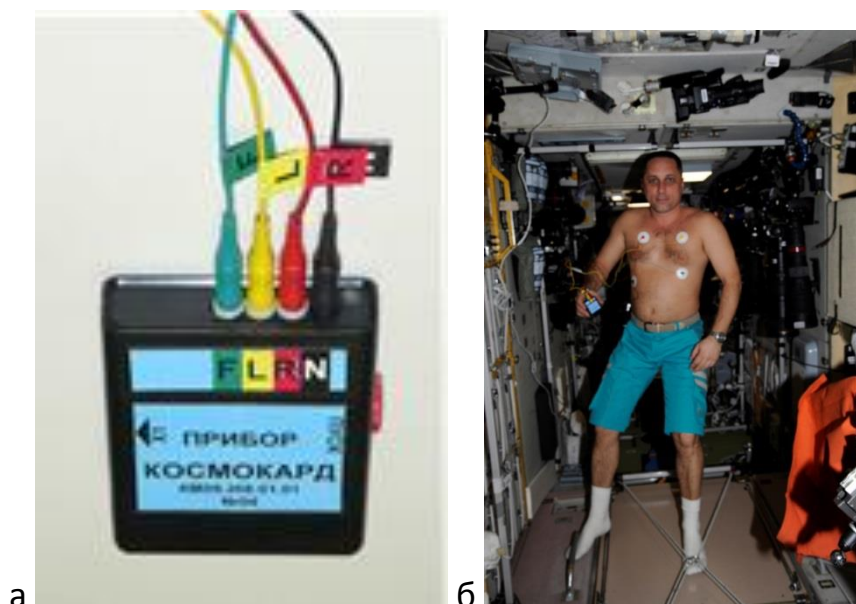


Рис. 10 - Прибор «Космокард» (а) и выполнение эксперимента «Космокард» на борту МКС космонавтом А.Н.Шкаплеровым (б).

Эксперимент даст возможность получить более полную картину влияния факторов длительного космического полета на систему кровообращения. При этом новая информация о состоянии и функциональных резервах сердечно-сосудистой системы будет основана на анализе энерго-метаболических процессов в миокарде (т.к. именно он является главным звеном, обеспечивающим функцию кровоснабжения органов и тканей). Важное отличие эксперимента заключается в том, что он направлен не только на определение текущих функциональных параметров миокарда и его резервных возможностей, но и на прогнозирование вероятных патологических изменений. Т.е. исследователи смогут разработать новые критерии оценки состояния космонавтов в полете и прогнозирования ортостатических нарушений после приземления. Применительно к кардиологии полученные результаты позволят совершенствовать систему дистанционного мониторинга состояния больных с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, своевременно оказывать им медицинскую помощь при ранних нарушениях сердечной деятельности.

Изучению возможности коррекции гемодинамических изменений в невесомости с помощью отрицательного давления на вдохе посвящен эксперимент **«УДОД»**, в ходе которого проводится апробация устройства с дополнительным сопротивлением на вдохе в качестве средства снижения кровенаполнения головы в космическом полёте (рис. 11). Основу представленного исследования составляет гипотеза об усилении оттока крови из интракраниального сосудистого бассейна по яремным венам в грудную полость, в верхнюю полую вену и камеры сердца при снижении внутригрудного давления. Целью эксперимента является изучение сочетанных изменений дыхания и гемодинамики под воздействием дополнительного сопротивления дыханию на вдохе, направленного на профилактику возможных гемодинамических нарушений в условиях длительного космического полёта.



Рис. 11 - Выполнение эксперимента «УДОД» на борту МКС космонавтом Г.И. Падалка.

Использование маски УДОД у обследуемых космонавтов выявил усиление индивидуальных особенностей реакции дыхания человека на повышенное сопротивление на вдохе во время длительного пребывания в условиях невесомости, что обуславливает необходимость в дальнейшем проведении экспериментальных исследований. В связи с небольшим количеством первоначально запланированных исследований, наличием существенных индивидуальных особенностей, подчас разнонаправленных, в перестройке дыхания и кровообращения под воздействием дополнительного сопротивления дыханию на вдохе, необходимо продолжить накопление

научного материала и довести количество обследуемых космонавтов до 16 человек с включением дополнительных методов исследования.

Пребывание в невесомости сопровождается развитием глубоких изменений в двигательной системе, нарушающих деятельность практически всех ее механизмов и компонентов – сенсорных входов (опорного, мышечного, вестибулярного), структур, отвечающих за прием, обработку и передачу информации, центральных механизмов и системы управления движениями, обеспечивающих анализ этой информации и построение программ движений, а так же мышечной периферии – т.е. эфферентного звена системы. Результатом этих нарушений является существенное снижение силы мышц и расстройство координации как стереотипных, так и новых движений. Двигательная система млекопитающих и человека в частности является действительно полностью гравитационно-зависимой системой. Внутри этой системы наиболее зависимыми от уровня гравитации являются механизмы поддержания позы и локомоций (ходьбы и бега), нарушение координации которых выявляются даже после самых коротких космических полетов.

Целью эксперимента «**Мотокард**» является исследование природы нарушений локомоций в длительных космических полетах и путей их коррекции и предупреждения (рис. 12).

К настоящему времени выполнена задача получения объективных количественных данных о кинематических, биомеханических и электромиографических характеристиках локомоций, выполняемых в активном и пассивном режимах работы бегущей дорожки с различными скоростями в различных фазах космических полетов.



Рис. 12 - Космонавт С.Н.Рязанский выполняет эксперимент «Мотокард» на борту МКС.

В целом полученные предварительные результаты подтверждают целесообразность продолжения эксперимента и необходимость увеличения выборки для создания возможности статистического анализа. На сегодняшний момент получены абсолютно новые данные о характере электромиографической активности мышц голени в ходе осуществления локомоций на борту космической станции, а также о характере изменений биомеханических и кинематических характеристик ходьбы и бега в невесомости; дальнейший анализ полученных данных внесет вклад в оценку эффективности применяемых средств профилактики негативных влияний невесомости на двигательную систему человека.

Во время космического полета организм космонавта постепенно адаптируется к условиям микрогравитации, а после возвращения - реадаптируется к земной гравитации. В начальные периоды этих процессов практически у всех космонавтов возникает ряд специфических реакций, связанных с органами чувств. В первую очередь, это ориентационные иллюзии, головокружение, затруднение при фиксации и прослеживании зрительных объектов.

Эксперимент **«Виртуал»**, целью которого является получение новых данных о механизмах сенсорных взаимодействий и сенсорных адаптаций, динамики устойчивости адаптивных сдвигов в длительных космических полетах (рис. 13).



Рис. 13 – Проведение сеанса эксперимента «Виртуал» на борту РС МКС Е.О. Серовой.

В результате выполнения Этапа 1 космического эксперимента «Виртуал» российским ученым впервые удалось зарегистрировать и выяснить, какие именно изменения происходят в ВФ в невесомости и их механизмы. Было установлено, что за счёт центральной деафферентации, т.е. отторжения изменённого в невесомости вестибулярного сигнала, отолитовый рефлекс резко снижается, а рефлекс с полукружных каналов повышаются (резкое усиление интенсивности нистагма при вращении головы). При этом изменения вестибулярной функции в ходе полета в условиях невесомости не зависели от повторности КП.

Результаты космического эксперимента очень важны для совершенствования методов прогноза, профилактики и коррекции нарушений деятельности вестибулярной и взаимодействующих с ней сенсорных систем в космической и клинической медицине. При этом созданная методология исследований ВФ в КЭ «Виртуал» параллельно была внедрена и апробирована в клинике и при выполнении фундаментальных исследований, в которых используется по сей день.

Исследованию особенностей структурно-функционального состояния различных отделов желудочно-кишечного тракта для выявления специфики изменений пищеварительной системы, возникающих в условиях космического полета» посвящен эксперимент **«Спланх»**.

Целью данного эксперимента является получение в условиях космического полета фундаментальных данных о структурно-функциональном состоянии различных отделов желудочно-кишечного тракта и лежащих в его основе механизмах, определяющих особенности изменений пищеварительной системы в невесомости. В соответствии с задачей первого этапа эксперимента в 2014-2015 г.г. выполнялась начальная серия исследований по выявлению специфики электрической активности различных отделов желудочно-кишечного тракта в невесомости с использованием комплекта СПЛАНХ-1 и определение биохимических показателей, характеризующих состояние отдельных органов пищеварительной системы, с использованием штатного комплекса РЕФЛОТРОН-4 (рис. 14).

Результаты, полученные при проведении эксперимента на МКС, являются уникальными, впервые показавшими особенности электрической активности и, следовательно, функционального состояния основных отделов желудочно-кишечного тракта натощак, во время и после приема пищи в невесомости. Имеющийся в настоящее время объем исследований позволяет сделать



Рис. 14 - Космонавт Александр Самокутяев начинает эксперимент «СПЛАНХ» взятием крови до приема пищи для ее биохимических исследований после чего начинаются процедуры регистрации электрической активности различных отделов желудочно-кишечного тракта.

предварительное заключение, что снижение электрической активности ЖКТ в невесомости, по-видимому, связано с отсутствием гравитационного фактора, а именно веса пищи и, соответственно, веса пищевого химуса, что приводит к

меньшим энергетическим затратам при его перемещении. Отсутствие веса химуса создает условия для его облегченного продвижения по ЖКТ с меньшими энергетическими затратами, находящими свое отражение в снижении электрической активности, которое с течением времени может предполагать возникновение детренированности. Менее значимой причиной может быть смещение органов брюшной полости в невесомости, на которое указывает часть результатов, полученных в КЭ. Кроме связанного с отсутствием гравитационного фактора снижения электрической активности ЖКТ результаты КЭ позволили получить также косвенные признаки, характерные для проявлений изменений секреторной активности пищеварительной системы, обусловленные гемодинамическим механизмом.

Национальная программа медико-биологических исследований включает в себя психо-физиологические эксперименты (**«Взаимодействие-2», «Контент» и «Пилот-Т»**)

В настоящее время космическая деятельность представляет собой объединение усилий многонациональных экипажей, которое включает тесную кооперацию и совместное проживание людей с различным культурным, профессиональным и организационным опытом. Эксперимент **«Взаимодействие-2»** посвящен изучению влияния многонационального состава экипажей МКС на межличностное и межгрупповое взаимодействие.

Целью эксперимента «Взаимодействие-2» является исследование закономерностей внутри- и межгрупповой (взаимодействие с ЦУП) динамики в ходе длительного космического полета международного экипажа.

Контент-анализ критериев оценок ближайшего окружения космонавта показал, что в космическом полёте система ценностей в целом оставалась устойчивой.

В ходе полёта наиболее значимыми были качества, относящиеся к категориям *Ограничительный конформизм, Доброта, Мудрость*

обеспечивающие хорошие социальные отношения в условиях изоляции (дисциплинированность, исполнительность, самоконтроль, толерантность). Важными также были ценности *Самоопределения, Достижения и Стимуляции*, определяющие успех профессиональной деятельности космонавтов (интеллект, творчество, смелость, энергия, эффективность, профессионализм, трудолюбие и т.п.).

Космонавты в целом были удовлетворены объемом и качеством общения, наибольшая частота общения отмечалась с членами экипажа, работающими на российском сегменте МКС. В последний период полёта происходило снижение частоты общения со всеми коммуникантами, кроме работающих на РС МКС.

В целом, полученные экспериментальные данные подтвердили высокую значимость и актуальность изучения взаимного восприятия, опосредованно отражающего взаимодействие в экипаже и особенности влияния факторов космического полета на систему ценностей космонавтов.

Решению проблемы оптимизации коммуникации «экипаж-ЦУП» подразумевает необходимость изучения взаимосвязей между особенностями коммуникации и характеристиками внутри- и межгруппового взаимодействия. Кроме того, используемые в настоящее время методы психоневрологического анализа радиопереговоров «экипаж – ЦУП» нуждаются в автоматизации и объективизации (повышение оперативности, минимизация влияния личности эксперта).

Целью эксперимента **«Контент»** является апробация объективного автоматизированного метода оперативной оценки психофизиологического состояния космонавта, а также внутригруппового и межгруппового (экипаж – ЦУП) взаимодействия на основе количественного анализа деятельности космонавтов по коммуникации с ЦУП-М.

Количественный и качественный анализ коммуникации «экипаж-ЦУП» позволил подтвердить предположение о том, что космонавты в своей

деятельности на борту, в частности, в коммуникации с ЦУП, проявляли высокий профессионализм.

Полученные количественные и качественные экспериментальные данные подтвердили высокую значимость и актуальность изучения коммуникации между членами экипажа и ЦУП, отражающей особенности внутри- и межгруппового взаимодействия, а также индивидуальных стратегий совладания со стрессом и решения проблемных ситуаций.

В современной психофизиологии, эргономике, авиакосмической медицине и психологии важное место занимает разработка методов оценки психофизиологического состояния (ПФС) и качества деятельности (КД) оператора, проводимая в русле развития проблемы надежности системы «человек-машина» (СЧМ). В связи с этим, продуктивность деятельности человека-оператора является функцией не только знаний, навыков и умений, но и в существенной степени зависит от функциональных изменений, развивающихся в организме и психике в процессе выполнения работы. Необходимо учитывать, как медицинский аспект (здоровье человека), так и социально-психологический – результативность работы оператора.

Совершенствованию методов и разработка средств оценки и прогнозирования надежности профессиональной деятельности космонавта при выполнении сложных операторских задач (пилотирования космического корабля (КК) и управления транспортным и роботизированным средствами на поверхности космического тела) на различных этапах длительного космического полета (ДКП) посвящен эксперимент **«Пилот-Т»** (рис. 15).



Рис. 15 - Космонавт М.Б. Корниенко выполняет эксперимент «Пилот-Т»

Полученные результаты в протоколе «6DF» свидетельствуют о том, что космонавты выполняет стыковку/перестыковку двух КА в рамках соответствующих их профессиональному уровню.

Полученные результаты протокола «Когнитивные тесты» свидетельствуют о том, что во время полета отмечается: высокий уровень функционирования когнитивных функций (оперативной памяти, счетно-логического мышления, восприятия информации), а также высокий уровень мотивации, проявившийся в связанном с обучением росте показателей тестирования. Отдельные периоды напряженной деятельности в полете могут вызывать снижение психологической устойчивости (ухудшение настроения), не сказывающиеся на операторской деятельности.

Предстартовый фоновый период характеризуется для члена экипажа высокими нагрузками и несколько сниженной работоспособностью. Некоторое снижение ряда параметров в послеполетный период находится в пределах индивидуальной нормы и связано с состоянием после выполнения напряженной полетной программы.

Изучаемые когнитивные функции коррелируют с параметрами моделируемой операторской деятельности.

Сочетание нового подхода к обработке психофизиологических параметров в процессе профессиональной деятельности с возможностями современной

техники регистрации физиологических данных позволит получить информацию о механизмах когнитивных процессов поддержания и оптимизации операторских навыков в условиях воздействия неблагоприятных факторов длительного космического полета.

Большое место уделяется биохимическим исследованиям в космическом полете (эксперименты **«Иммуно»**, **«МОРЗЭ»**, **Коррекция»**)

Целью космического эксперимента **«Иммуно»**, направленного на исследование нейроэндокринных и иммунных ответов у человека во время и после космического полета на МКС является изучение нейроэндокринных и иммунологических изменений до, во время и после космического полета.

Проведенные исследования иммунного статуса показали, что у обследованных космонавтов иммунная система удовлетворительно выполняла свои функции, состоящие в контроле качественного постоянства внутренней среды организма, о чем свидетельствует отсутствие в периоде ранней послеполетной реадaptации к земным условиям клинических признаков вторичного иммунодефицита, а выявленные изменения являются признаками адаптивной реакции. У обследованного космонавта МКС 42-43 реадaptация к наземным условиям сопровождалась умеренными изменениями в функциональной системы иммунного гомеостаза. Следует отметить, что полученные результаты находятся в пределах физиологической нормы.

Космический эксперимент **«МОРЗЭ»** - «Мониторинг обмена веществ и его регуляции, динамики защитных систем организма и экологических факторов во время космических полетов на МКС», основными задачами, которого являются: получение новых данных о состоянии обмена веществ и его нейрогормональной регуляции; получение данных о связи нейрогормонального и психофизиологического статуса с параметрами окружающей среды и сроками пребывания в условиях микрогравитации; получение новых прогностических параметров ортостатической устойчивости

членов экипажей в период ранней послеполетной реадаптации к условиям земной гравитации.

Такие исследования немногочисленны, но остро необходимы, во-первых, для понимания тонких механизмов адаптации организма человека к воздействию факторов космического полета, и, во-вторых – для использования полученных результатов в практике медико-биологического обеспечения высокой работоспособности и надлежащего здоровья космонавтов.

Предварительный анализ полученных на борту МКС результатов показывает их соответствие научным гипотезам и указывает на устойчивый характер связи показателей нейрогормональной регуляции и психофизиологического статуса.

Полученные научные данные в дальнейшем будут использованы при планировании режима труда и отдыха космонавтов, а также для совершенствования системы медицинского контроля и профилактики неблагоприятных воздействий комплекса факторов космического полета на состояние здоровья и работоспособность членов экипажей, особенно на начальных этапах и в период выполнения ответственных операций, а также на этапе реадаптации организма к условиям земной гравитации после посадки. В дальнейшем предполагается использование полученных результатов на этапах планирования и разработки программ пилотируемых сверхдлительных межпланетных космических полетов.

Ранее проведенные исследования объемной минеральной плотности и структурной организации костной ткани у космонавтов, совершивших космические полеты (КП) продолжительностью до 200 суток, показали высокую индивидуальную вариабельность значений изучаемых параметров при действии факторов космического полета на организм человека.

Показано, что после длительных КП в лучевой и большеберцовой кости большинства обследованных космонавтов происходит специфическое

изменение микроархитектуры костной ткани - снижение числа трабекул, увеличение их толщины и степени неоднородности трабекулярной сети.

Исследования по программе **«Коррекция»** направлены на получение современных научных данных о полетной динамике биохимических маркеров активации остеогенеза. Целью данного эксперимента является определение механизмов потери массы костной ткани и её выраженности во время космического полёта, описание динамики и определение механизмов восстановления и возможности прогнозирования обратимости после возвращения на Землю

Предварительный анализ результатов показал, что для полного анализа результатов, учитывая индивидуальные особенности обмена костной ткани у космонавтов после продолжительных космических полётов, необходимо провести комплексную оценку массы, геометрии и структуры кости в отдалённый период восстановления (до +540 суток после полёта), а также, после получения с борта МКС замороженных проб крови, оценить динамику биохимических маркёров, отражающих обмен веществ в костной ткани до, во время и после полета.

В рамках направления «Радиационная безопасность» проводится космический эксперимент **«Матрешка-Р»**

Исследование характеристик энергетического спектра заряженных частиц и нейтронов внутри космического аппарата представляет собой достаточно специфическую задачу, требующую учета целого ряда дополнительных факторов, влияющих на результаты эксперимента. В настоящее время точность существующих расчетных методов оценки спектров внутри обитаемых отсеков космических кораблей невысока, и требуется обязательная экспериментальная проверка методик таких расчетов.

В космическом эксперименте **«Матрешка-Р»** проводится исследование поля заряженных частиц и нейтронов в широком энергетическом диапазоне

внутри РС МКС с целью определения основных характеристик радиационного воздействия на экипажи пилотируемых космических аппаратов. Средства штатного мониторинга обеспечивают измерение распределения мощности поглощенной дозы в РС МКС и соответствующей кривой ослабления мощности дозы, а также возможность измерения поглощенной мощности дозы непосредственно в месте размещения детектора спектрометра нейтронов (рис. 16).

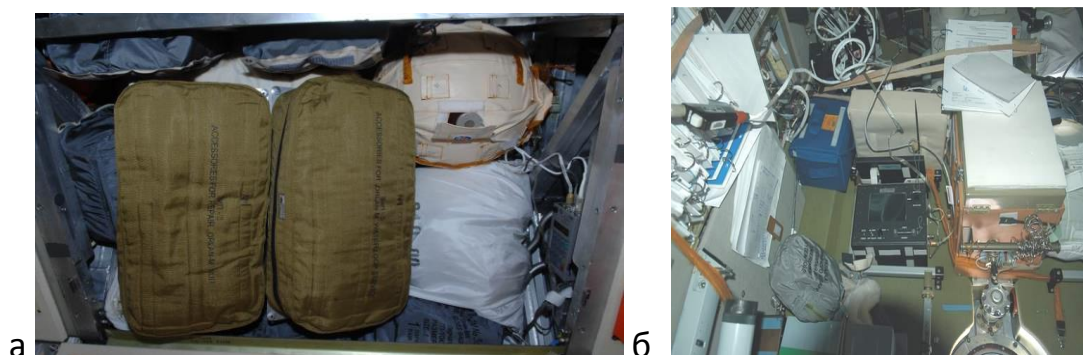


Рис. 16 - Детекторный блок НА «Люлин-5» в гнезде шарового фантома в модуле МИМ1 (а), Блок электроники (пульт) НА «БАББЛ-дозиметр» (в центре, с дисплеем) в интерьере СМ (б).

Основные результаты реализации КЭ «Матрешка-Р» :

- обнаружена сильная неоднородность распределения дозы по глубине и по поверхности шарового фантома (а, следовательно, и по телу космонавта).
- получено, что в среднем по стенке каюты защитный эффект по поглощенной дозе заряженных частиц составляет 43%, в некоторых областях «шторки» защитный эффект меньше (от 13 до 21 %) или больше (от 53 до 75 %);
- ослабление дозы нейтронов «Шторкой защитной», измеренное с использованием пузырьковых детекторов, меняется от 10 до ~50 %, сильно завися от взаимного расположения детекторов.

Данные, полученные в эксперименте, позволяют оценить мощность дозы в отсеках МКС для периода вблизи фазы максимума солнечной активности на конечной фазе ее роста.

Особый интерес представляют результаты эксперимент «Матрешка-Р» со «Шторкой защитной» в качестве дополнительной радиационной защиты каюты СМ РС МКС использовались предназначенные для складирования на МКС средств личной гигиены космонавтов – салфетки и полотенца влажные, помещенные в специальные накопители. Как показал эксперимент, такой подход имеет следующие положительные стороны:

- появляется дополнительная защищенность членов экипажа в каюте, при которой эквивалентная доза снижается от 38% до 49%;
- не требуется доставка на МКС дополнительных защитных средств массой ~70 кг поскольку количество и масса влажных СЛГ, уложенных в «Шторку защитную», учитывается при формировании грузопотока в течение года;
- затраты по реализации подобного вида дополнительной защиты относительно невелики и связаны в основном с изготовлением тканевых накопителей для размещения СЛГ;
- отсеках станции освобождается объем запанельного пространства, ранее занятого складированными СЛГ;
- уменьшается время, затрачиваемое экипажами на инвентаризацию СЛГ, остающихся для использования;
- приобретенный при проведении эксперимента опыт полезен при разработке перспективных средств дополнительной защиты на основе использования водосодержащих и иных материалов для длительных космических полетов.

Полученное в работе совпадение расчетных и экспериментальных данных с точностью ~15% подтверждает применимость ранее предложенной авторами

расчетной методики при оценке эффективности дополнительной защиты современных и перспективных космических аппаратов.

Использование дополнительной защиты в отсеке позволяет снизить радиационные нагрузки на космонавта в терминах эквивалентные дозы более, чем на 40 % для широкого интервала высот полета орбитальной станции в минимуме и максимуме солнечной активности.