

УДК 004:629.78

**НАУЧНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА
АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО И МЕТОДИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ
ВИДЕОИНФОРМАЦИИ ОТ РОССИЙСКИХ ЭКИПАЖЕЙ
В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ**

О.И. Орлов, И.И. Попова, Ю.Г. Ревякин

Докт. мед наук, академик РАН О.И. Орлов; И.И. Попова
(ГНЦ РФ – ИМБП РАН)

Ю.Г. Ревякин (Институт прикладной математики имени М.В. Келдыша РАН)

В работе представлены методология и аппаратно-программное обеспечение получения телемедицинской видеоинформации при выполнении космического эксперимента (КЭ) «ЛОР» членами экипажей российского сегмента Международной космической станции (РС МКС). Описаны результаты программной реализации автоматизации процедуры обследования состояния слизистых оболочек ЛОР-органов, пародонта и зубочелюстной системы космонавтов с помощью разработанных бортовых комплектов и программного обеспечения (ПО) «ЛОР». Показано, что проведенные в полете эндоскопические обследования с помощью разработанных средств визуализации дают возможность получать оперативные видеоданные обследований космонавтов и оценивать их состояние здоровья, а также индивидуальные особенности в условиях длительного космического полета, а также непосредственно после проведения внекорабельной деятельности (ВКД) и прохождения активных участков полета.

Ключевые слова: бортовой комплект «ЛОР», программное обеспечение «ЛОР», телемедицинские видеоизображения

Research and Experimental Validation of Hardware, Software and Methodology for Capturing Telemedicine Video Feeds from Russian Crews During Spaceflight. O.I. Orlov, I.I. Popova, Yu.G. Revyakin

The paper presents the methodology, hardware and software for obtaining remote diagnostic video feeds during the ENT space experiment (CE) performed by crew members of the Russian segment of the International Space Station (ISS RS). The paper describes the results of introducing software designed to automate the examination of ENT mucous membranes, periodontium and stomatognathic system of cosmonauts using the newly developed on-board ENT devices and software. The publication demonstrates that in-flight endoscopy using innovative imaging technologies, enables real-time telemedicine video feeds to evaluate overall health status of cosmonauts and its individual aspects during long-term spaceflights, immediately after spacewalks (EVA) and dynamic flight phases.

Keywords: on-board ENT device, ENT software, telemedicine video feeds

Многолетняя практика медицинского обеспечения космических полетов показала, что, несмотря на строгий отбор и предполетную подготовку, у космонавтов на борту неоднократно были зафиксированы случаи патологии ЛОР-органов и заболеваний стоматологического профиля [1]. Это, по мнению специалистов, обусловлено условиями жизнедеятельности на станции, длительностью изоляции и неблагоприятным влиянием факторов полета. В течение длительных космических экспедиций происходит активизация условно-патогенного компонента микрофлоры человека [2], в том числе микрофлоры слизистых оболочек верхних дыхательных путей и пародонта, что создает предпосылки для развития воспалительных процессов. В случае острой патологии ЛОР-органов [3, 4] и при проблемах стоматологического характера [5] у космонавтов в полете потребовалась помощь специалистов группы медицинского обеспечения полета.

Медицинские случаи, вызвавшие необходимость консультаций с профильными специалистами, были выявлены и при проведении стоматологических и ЛОР-исследований в рамках космического эксперимента «БИМС» по отработке современных телемедицинских технологий и оперативного получения видеoinформации от экипажей РС МКС [6], а также в наземных условиях длительной изоляции, имитирующих длительный полет.

В настоящее время в стоматологии [7], дерматологии [8] и оториноларингологии [9] широкое применение нашли методы исследования, которые обеспечивают возможность использования профессиональной эндоскопической аппаратуры и оригинального программного обеспечения для передачи и дистанционного анализа медицинской информации профильными специалистами. При этом исследования показали, что полученные при проведении эндоскопии неподвижные (статические) изображения имеют ряд недостатков. Так к недостаткам статических изображений при отоскопии относят невозможность определить глубину слухового прохода и втягивание барабанной перепонки. Видеоэндоскопия с возможностью изменения отражения света дают специалисту больше информации, например, могут помочь восприятию глубины и выявлению потенциальной патологии барабанной перепонки, включая ретракцию или перфорацию, если таковые имеются [10–12].

Наш опыт получения телемедицинской информации в реальных условиях на борту МКС [6] также показал, что в условиях дефицита времени у космонавтов приходится полностью отказаться от записи статических медицинских изображений в пользу записи видеофрагментов информации. При этом основное внимание должно уделяться методике проведения обследования, адаптированной к условиям полета и качеству получаемых видеоизображений, позволяющих выявить даже незначительные патологические изменения исследуемых органов. При проведении полетных обследований в условиях космического полета были выявлены отдельные случаи изменения состояния слизистых оболочек верхних дыхательных путей и слуховых проходов непосредственно после выполнения ВКД и установлена

необходимость получения видеоданных эндоскопии слизистых оболочек слуховых проходов, барабанных перепонки, носовых ходов перед осуществлением ВКД и после ее завершения, а также после прохождения активных участков полета. Это позволило бы специалистам оценить возможные индивидуальные изменения исследуемых органов, связанные с влиянием экстремальных факторов полета.

Исходя из этого, были разработаны методология и аппаратно-программное обеспечение, позволяющие дистанционно оценить состояние и динамику изменения слизистых оболочек верхних дыхательных путей, пародонта и твердых тканей зубов, а также наружного и среднего уха космонавтов на разных этапах полета в рамках проведения космического эксперимента «ЛОР» [13].

В эксперименте впервые для получения качественных медицинских видеоизображений использовалось только российское оборудование и оригинальное ПО, разработанные с учетом экстремальных условий полета и уровня подготовки членов экипажей.

Бортовой комплект «ЛОР» включал укладку «ЛОР-ВИДЕООТоскоп» (рис. 1) российского производства на базе цифрового отоскопа «ВО-01 Оптимед» (г. Санкт-Петербург), предназначенного для захвата и обработки медицинских видеоизображений. Комплект укладки расходных материалов (КРМ) для каждого обследуемого «ЛОР-КРМ» (рис. 1) включал в себя воронки для эндоскопа, носовое зеркало (расширитель), шпатель терапевтический, салфетки дезинфицирующие и носитель информации «ЛОР-ДАННЫЕ» для записи результатов эксперимента и доставки их на Землю.



Рис. 1. Укладки «ЛОР-ВИДЕООТоскоп» и «ЛОР-КРМ»

При разработке методологической базы для сопровождения обследований было создано специализированное ПО «ЛОР» (бортовая версия ЛОР-4.0.5.6), разработанное применительно к задачам эксперимента. Это позволило максимально реализовать исследовательские функции космонавта. ПО «ЛОР»

в соответствии с разработанным для каждой области обследования графическим интерфейсом обеспечило получение информации в виде обзорных динамических видеофрагментов, отражающих состояние нижнего и верхнего зубных рядов и десен обследуемого, ЛОР-органов, а также описание видеoinформации с учетом специфики обследований.

Методика

Основная методическая база эксперимента включает методы моделирования и испытания аппаратно-программных бортовых средств, методы программирования записи и обработки цифровых видеоизображений, программирование пользовательских графических интерфейсов. Разработана методология проведения профильных обследований на борту МКС, обработки и анализа полученных полетных данных с выработкой, при необходимости, рекомендаций для каждого члена экипажа.

Эксперимент проводился до, во время и после полета. В предполетном периоде проводилось 1–2 сессии (за 60 и 45 сут до старта). После полета – 1–2 сессии; первая сессия – не позднее одной недели после посадки. Фоновые предполетные и послеполетные исследования проводились совместно с ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Проведение эксперимента во время полета включало в себя 6 сессий с учетом ВКД. Первое обследование – на 1–7-й день полета; далее – ориентировочно один раз в месяц. При наличии ВКД – на 1–2-й день после ВКД. Минимальное количество сессий – 4 за полный полет одной экспедиции. Продолжительность каждого сеанса эксперимента строго регламентировалась рабочим расписанием экипажа; эксперимент выполнялся каждым членом экипажа самостоятельно или с минимальной поддержкой со стороны служб наземного сопровождения.

Особенно важным являлось требование к качеству полученных результатов, так как медицинские видеоизображения должны отражать состояние контролируемых органов и сохранять диагностическую значимость при передаче на Землю.

При разработке ПО «ЛОР» было предусмотрено предоставление единой программной среды для выполнения эксперимента с единым интерфейсом для выполнения всех этапов и видов обследований. Программный интерфейс позволял максимально полно учитывать специфику профиля и процедуры конкретного обследования. Действия пользователей по вводу информации на всех этапах выполнения обследований минимизированы, а выбор возможных альтернатив ограничен. Бортовая версия ПО поставлялась на борт для каждой экспедиции с возможностью, при необходимости, вносить изменения в бортовую методику.

ПО разработано для сопровождения эксперимента на всех его этапах: ввода параметров сеанса (паспортных данных сеанса КЭ); выбора и проведения конкретного профильного обследования; записи и обработки медицинской

видеоинформации; сохранения и передачи архивов видеоданных по каналам связи. Для записи видеофрагментов обследуемой области ПО «ЛОР» предоставляет следующие функциональные возможности: получение и контроль видеопотока, получаемого от эндоскопа; выбор и запись необходимого видеофрагмента; просмотр полученного видеофрагмента и первичная оценка качества видеоизображения (рис. 2).

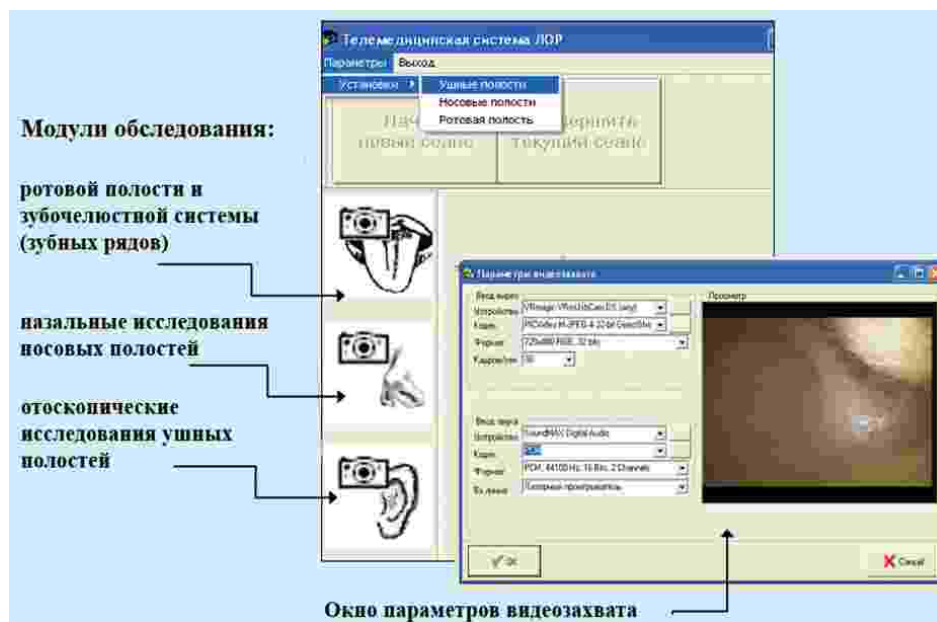


Рис. 2. Интерфейс ввода видеофрагмента

ПО позволяет записывать и передавать динамические видеофрагменты с использованием метода сжатия видео Motion JPEG (MJPEG), использующего внутрикадровое сжатие на основе алгоритма JPEG, с минимально возможными характеристиками: частота кадров – до 30 кадров/с; разрешение изображения – 720×480 пикселей. Каждому профилю обследования соответствует программный модуль, что дает возможность программного расширения и введения, при необходимости, дополнительных модулей для подключения новых или детализации существующих областей исследований. Методически подробно проработано получение видеоизображений с акцентом на области, представляющими интерес с точки зрения их изменения под влиянием экстремальных факторов полета. Выполнение программы разбито на несколько этапов, каждый из которых представлен своей формой интерфейса. При проведении каждого сеанса эксперимента выполняется следующая последовательность основных операций:

- ввод индивидуальной информации для заполнения паспорта сеанса;
- выбор необходимого профиля обследования из представленного меню;

- определение обследуемого органа с помощью оригинального графического интерфейса;
- анализ качества записи видео в окне контроля захвата изображения;
- запись видеофрагмента, отражающего состояния выбранного объекта обследования;
- просмотр сохраненного видеоизображения (при необходимости), ввод дополнительных текстовых комментариев в свободной форме.

После заполнения паспорта сеанса и проверки установленных параметров видеозахвата исследователь переходит к выбору одного из профилей обследований:

- носовых ходов;
- внешних слуховых проходов и барабанных перепонок;
- ротовой полости;
- зубов и пародонта.

Предусмотрена возможность программного расширения и введения, при необходимости, дополнительных модулей обследования. Каждой области обследования соответствует свой оригинальный графический интерфейс.

Графический интерфейс обследования *ротовой полости* разработан для проведения обследования ротовой полости, зубов и пародонта. Для выбора объекта используется графический интерфейс со схематическим изображением ротоглотки и зубных рядов. Окно разделено на зоны с указанием следующих объектов обследования:

- десны с обозначением по четвертям зубных рядов (левая верхняя, левая нижняя, правая верхняя, правая нижняя);
- области неба;
- поверхности языка.

Разработан новый пользовательский интерфейс применительно к стоматологическим исследованиям с использованием схемы идентификации и демонстрации ввода видеоданных для облегчения процедуры проведения обследования. Видеозапись зубных рядов проводится в соответствии с зубной картой в следующей последовательности:

- осмотр верхней челюсти (зубы 11–28) – внешние и внутренние поверхности десен и зубов, включая жевательные;
- осмотр нижней челюсти (зубы 31–48) – внешние и внутренние поверхности десен и зубов, включая жевательные.

Перед началом записи видеофрагмента необходимо расположить эндоскоп так, чтобы в окне контроля появилось изображение начальной точки записи выбранного видеофрагмента. При этом необходимо следить, чтобы изображение в окне контроля было четким (сфокусированным), а освещенность – достаточной для выполнения видеосъемки. Четкости изображения необходимо добиться, меняя расстояние от эндоскопа до объекта съемки, а освещенность – поворачивая головку эндоскопа и направляя источник света на обследуемый объект. Для удобства просмотра изображение в окне

контроля видеопотока может быть повернуто на 90°, 180°, 270°. Во время записи видео внизу окна контроля изображения появляется информационное сообщение «Видеозапись» и индикатор продолжительности времени записи. При проведении осмотра ротовой полости рекомендуется использовать шпатель. Шпатель удерживает рукой сам обследуемый.

Модуль обследования *носовых ходов* предназначен для ввода видеофрагментов, фиксирующих состояние наружных носовых ходов обследуемого.

Для указания объекта обследования (левого или правого носового хода) используется графический интерфейс со схематическим изображением носовых ходов. Для ввода видеофрагмента достаточно дважды щелкнуть по одной из выделенной области изображения носовой полости. Название области появляется при наведении на нее стрелки. Откроется окно «Ввод видеофрагмента» для записи видеоизображения, отражающего состояния левого или правого носового хода. При проведении осмотра носовых ходов используется носовое зеркало (расширитель).

Модуль обследования *ушных полостей* предназначен для ввода видеофрагментов, фиксирующих состояние наружных слуховых проходов и барабанных перепонки обследуемого. В ходе обследования используется графический интерфейс со схематическим изображением следующих объектов обследования:

- левого слухового прохода;
- левой барабанной перепонки;
- правого слухового прохода;
- правой барабанной перепонки.

При отоскопическом обследовании проводился осмотр и запись видеоизображений ушных полостей, слухового прохода и барабанных перепонки.

Выполнение каждого из вида обследований не представляло риска для здоровья обследуемого. В качестве обследуемых в эксперименте принимали участие только российские члены экипажей. При проведении каждого из вида обследований космонавт должен быть зафиксирован для получения во время видеосъемки качественных видеоизображений. При проведении сеанса эксперимента рабочее место должно быть достаточно освещено. При необходимости используется дополнительное освещение.

После завершения сеанса КЭ записанные результаты сохраняются в файле-архиве для передачи службам наземного сопровождения эксперимента. Общий архив сеанса содержит не менее 5 файлов (30–100 Мб каждый) в соответствии с программой сеанса.

Специалисты ЦУП-М обеспечивали оперативный прием файлов с результатами КЭ «ЛОР» после каждого сеанса эксперимента по штатному каналу связи и последующую передачу этих файлов постановщику эксперимента посредством предоставления доступа к базе данных автоматизированной системы информационного обеспечения космических экспериментов (АСИО НПИ) ЦУП-М удаленно с его рабочего компьютера.

Результаты, полученные в ходе сеанса эксперимента, записывались в виде файлов с расширением «stms» в каталоге D:\LOR\Data\SeanceXX (где XX – текущий номер сеанса). Данные текущего сеанса хранятся на жестком диске в открытом виде только в ходе работы программы. После завершения сеанса данные сохраняются в закрытом архиве на диске D и доступ к ним возможен только с помощью специальных программных средств обработки результатов сеанса.

Результаты и обсуждение

Было запланировано и проведено 71 сеанс КЭ «ЛОР», включая фоновые исследования, послеполетные и 51 сеанс полетных обследований, включая обследования после проведения пяти ВКД (на 1–2-й день). На рис. 3 представлены предполетные исследования в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», проведенные Д.В. Матвеевым и С.Н. Рыжиковым.

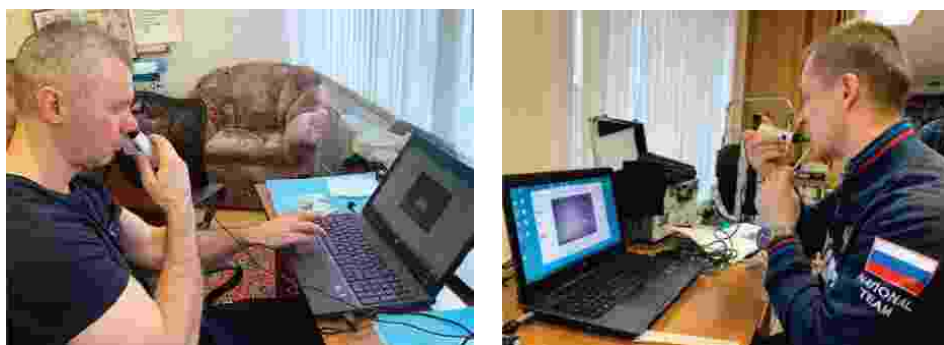


Рис. 3. Предполетные исследования «ЛОР»

В таблице приведено количество проведенных сеансов КЭ для каждой экспедиции.

№ экспедиции	Количество сеансов			Всего
	до полета	в полете	после полета	
МКС-63	2	8	2	12
МКС-64	2	12	2	16
МКС-65	1	4	1	6
МКС-66	2	10	2	14
МКС-67	3	17	3	23

В течение всех сеансов КЭ аппаратура «ЛОР» функционировала в штатном режиме; сбоев и отказов в работе ПМО «ЛОР» и программного интерфейса космонавтами не выявлено. Во время проведения эксперимента

бортинженером МКС-63 были переустановлены параметры видеозахвата при обследовании ротовой полости в соответствии с бортовой инструкцией.

В процессе проведения первых сеансов эксперимента был сделан вывод о недостаточности выданных исходных данных для проведения отоскопических обследований в бортовых условиях. В связи с этим в методике проведения КЭ было введено расширенное описание процедуры видеосъемки при проведении отоскопии и на сеансе, при необходимости, давались рекомендации со стороны постановщика эксперимента.

Во всех сеансах эксперимента на борту МКС космонавтами полностью выполнены все запланированные записи видеофрагментов обследуемых областей.

Проведение исследований полости рта космонавтов позволило проводить профессиональную интраоральную съемку зубных рядов, отдельных зубов и прилегающего к ним пародонта, слизистой оболочки ротовой полости, поверхности неба и языка. Это дало возможность выявить такие изменения в состоянии *зубочелюстной системы*, как невидимые глазом повреждения эмали зубов или пломбировочного материала, увидеть даже небольшие кариозные полости, получить картину образования полости после нарушения целостности пломбы (у одного космонавта) и проследить динамику образования зубного камня (наиболее выраженную у одного космонавта).

Методически проведение стоматологических исследований оказалось наиболее сложным в условиях невесомости. Тем не менее полученные результаты показали, что методики в целом были выполнены правильно, что позволило получить наглядную картину состояния обследуемых органов у космонавтов. На рис. 4 показано выполнение обследований ротовой полости и зубов на борту МКС командиром экипажа МКС-67 О.Г. Артемьевым и командиром экипажа МКС-66 А.Н. Шкаплеровым.

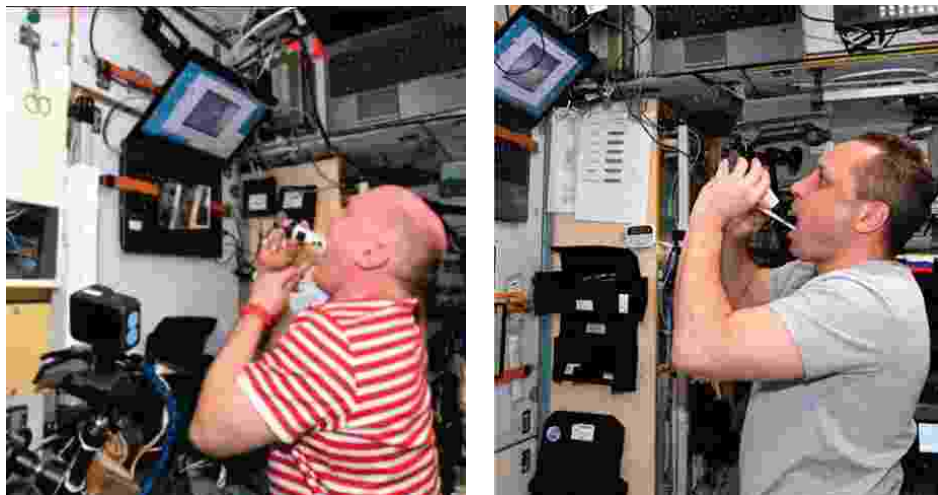


Рис. 4. Стоматологическое обследование зубного ряда на борту РС МКС

Качество полученных видеоизображений позволило провести дальнейшую обработку и анализ экспериментальных данных и проводить консультации с профильными специалистами группы медицинского обеспечения полетов ГНЦ РФ – ИМБП РАН и ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

По медицинским показаниям двум космонавтам были проведены консультации в отсроченном режиме и выданы на борт рекомендации врачей при переговорах по закрытому каналу связи.

Проведение назальных исследований по программе эксперимента позволило осуществлять мониторинг и выявить изменения состояния слизистой оболочки носовых ходов и носовой полости. У двух космонавтов в двух экспедициях проводился дополнительный мониторинг по медицинским рекомендациям врачей. В переговорах постановщика эксперимента с космонавтами при проведении сеансов уточнялась методика проведения обследований. Также проводился мониторинг динамических изменений состояния слизистой оболочки носовых ходов на 1–2-й день после ВКД и после посадки. В одном случае – по медицинским показаниям.

Методика проведения отоскопии также, со слов космонавтов, была более сложной в условиях невесомости. По методике проведения отоскопии были выданы рекомендации на борт для всех членов экипажа всех пяти экспедиций. Отдельно выдавались индивидуальные рекомендации во время переговоров при проведении эксперимента. Сообщалось о качестве результатов, полученных при проведении предыдущих сессий эксперимента.

По запросу командира экипажа МКС-65 постановщик эксперимента разработал дополнительные рекомендации по проведению отоскопических исследований. Начиная с полета экипажа МКС-65, обследования проводились с доработанной совместно с ПАО «РКК «Энергия» версией бортовой инструкции в части методики проведения отоскопических исследований.

Бортовые условия проведения КЭ показали соответствие времени проведения сеанса эксперимента запланированному.

Специалисты Группы целевых нагрузок ЦУП-М обеспечивали оперативный прием файлов с результатами после каждого сеанса эксперимента.

Полученные результаты и содержание радиопереговоров с космонавтами при проведении бортовых сессий позволили сделать следующие выводы:

- аппаратура и ПО «ЛОР» работали без сбоев;
- эргономичность разработанных программных интерфейсов позволила выполнять операции достаточно быстро в соответствии с методикой.

Результаты-архивы экспериментальных данных в формате *.stms были переданы полностью без повреждений и потери информации. Качество медицинских видеоизображений позволило проводить дальнейшую обработку и анализ экспериментальных данных. Получены качественные видеоизображения внешних и внутренних сторон нижних и верхних зубных рядов, пародонта и ЛОР-органов.

Полученные результаты показали, что методология обследований с помощью комплекта и ПО «ЛОР» дает возможность:

- получить наглядную картину состояния обследуемых органов у космонавтов;
- провести медицинские консультации с профильными специалистами в отсроченном режиме;
- оценить влияние на ЛОР-органы таких факторов полета, как ВКД и перегрузки на активных участках полета;
- получить дополнительную информацию об индивидуальной реакции космонавтов на экстремальные факторы полета.

Бортовые условия проведения КЭ «ЛОР» показали соответствие времени проведения сеанса запланированному. Были внесены корректировки в методическую часть бортовой инструкции ПАО «РКК «Энергия», касающуюся проведения отоскопических исследований.

Режим после сеансовой обработки данных позволил провести отложенные медицинские консультации и выдать рекомендации на борт с задержкой в 2–3 дня. Медицинские специалисты смогли получить наглядные изображения, позволяющие судить о состоянии наружных слуховых проходов, наличии серных отложений, состоянии и инъецированности сосудов барабанных перепонок, слизистых оболочек носовых ходов, слизистых оболочек полости рта, десен и состоянии зубов.

Особенный интерес представляли исследования, которые проводились в соответствии с программой полета непосредственно после ВКД и прохождения активных участков полета. Было выявлено влияние ВКД и перегрузок на состояние слизистых оболочек наружного и среднего уха и полости носа на активных участках полета (старт, посадка). Прослеживались изменения состояния этих органов в течение всего полета.

При осмотре зубочелюстного аппарата полученные данные позволили проследить за изменением состояния зубной эмали, наличием и ростом налетов, свидетельствующих о состоянии полости рта, а также изменением состояния пломб (нарушение целостности), симптомами и наличием кариеса.

Выводы

На основании анализа результатов проведенных исследований (в том числе 51 полетных сессий) с использованием аппаратуры «ЛОР» и ПО «ЛОР» были сделаны следующие выводы:

- проведение регулярных динамических обследований космонавтов с помощью разработанных методологии и аппаратно-программных средств визуализации и технологий телемедицины дает возможность получить видеоизображения и оценить состояния слизистых оболочек верхних дыхательных путей, пародонта и твердых тканей зубов, наружного и среднего уха у космонавта до, во время и после КП, а также непосредственно после проведения ВКД;

– в процессе проведения полетных сессий в соответствии с методикой обследования получены диагностически значимые видеоизображения внешних и внутренних сторон зубных рядов, слизистых оболочек полости рта, носовых ходов, ушных проходов и барабанных перепонок на разных этапах полета. Это позволило реализовать телемедицинский режим отсроченных консультаций по медицинским показаниям с профильными специалистами;

– анализ полученных видеофрагментов от экипажей РС МКС в реальных условиях полета, в том числе по медицинским показаниям, дали возможность контролировать процесс адаптации к невесомости космонавтов и объективно оценивать индивидуальную реакцию организма при ВКД и работе на активных участках полета;

– результаты КЭ предполагается использовать для дальнейшего совершенствования специализированной медицинской помощи космонавтам в длительных космических полетах на МКС и перспективных космических объектах. Бортовой комплект «ЛОР», программное и методическое обеспечение КЭ рекомендуется ввести в состав штатных средств медицинского контроля РС МКС. В связи с рекомендацией космонавтов целесообразно разработать дополнительно модуль «Дерматоскопия».

Отработанные в ходе КЭ средства и методы получения информации с использованием телемедицинских технологий перспективны для применения в земных условиях при проведении медицинского мониторинга групп людей, находящихся в условиях долговременной изоляции, а также в мобильных телемедицинских комплексах с целью организации дистанционных консультаций с использованием имеющихся, в том числе спутниковых каналов связи.

Основным направлением дальнейших исследований является разработка методик получения медицинских видеоизображений при наличии устойчивого канала двусторонней связи и возможности консультаций в реальном времени в условиях длительного космического полета и повышение качества видеоизображений за счет улучшения оптических характеристик эндоскопической аппаратуры.

Работа выполнена по Программе фундаментальных научных исследований РАН FMFR-2024-0039.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров, И.Б. Система оказания медицинской помощи космонавтам / И.Б. Гончаров, И.В. Ковачевич // Орбитальная станция «Мир»: Космическая биология и медицина: в 2 т. / [Редкол.: А.И. Григорьев (гл. ред.) и др.]. – Москва: Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, 2001. – Т. 1: Медицинское обеспечение длительных космических полетов. – С. 432–454. – Текст: непосредственный. – ISBN 5-902119-01-4.

2. Актуальные проблемы микробиологической безопасности среды обитания орбитальных станций в условиях многолетней эксплуатации / А.Н. Викторов, Н.Д. Новикова [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 1995. – Т. 29, № 5. – С. 51–55.
3. Современные проблемы оториноларингологии в космической медицине: материалы 50-х Науч. чтений памяти К.Э. Циолковского / Э.И. Мацнев, Е.Э. Сигалева, Л.Г. Ефимова, Б.С. Зайченко. – URL: <https://readings.gmik.ru/lecture/2015-SOVREMENNIE-PROBLEMI-OTORINOLARINGOLOGII-V-KOSMICHESKOY-MEDITSINE?ysclid=mrurn8gnosh42264822> (дата обращения 21.07.2026).
4. Диагностика и лечение заболеваний ЛОР-органов у российских космонавтов в полетах на орбитальной станции «Мир» и МКС / В.В. Богомолов, А.В. Поляков, И.И. Попова, Э.И. Мацнев [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2020. – Т. 54, № 3. – С. 22–27.
5. Диагностика и лечение заболеваний стоматологического профиля в пилотируемых орбитальных полетах на орбитальных станциях «Мир» и Международной космической станции / В.В. Богомолов, А.В. Поляков, И.И. Попова [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2018. – Т. 52, № 5. – С. 19–22.
6. Отработка технологий телемедицинского обеспечения медицинского сопровождения пилотируемых полетов при реализации первого этапа эксперимента «БИМС» / И.И. Попова, О.И. Орлов, И.Б. Гончаров, Ю.Г. Ревякин; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук. – Москва: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2011. – С. 219–228. – (Международная космическая станция. Российский сегмент. Т. 1). – Текст: непосредственный.
7. Состояние и перспективы применения информационных и телекоммуникационных технологий в стоматологии / В.М. Леванов, Е.А. Голуб, А.И. Агашина, Е.П. Гаврилова // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. – 2021. – № 1. – С. 39–48.
8. Coates, S.J. Tele dermatology: From Historical Perspective to Emerging Techniques of the Modern Era: Part I: History, Rationale and Current Practice / S.J. Coates, J. Kvedar, R.D. Granstein // Journal of the American Academy of Dermatology. – 2015. – V. 72, Is. 4. – P. 576–586.
9. Особенности телемедицинских консультаций в оториноларингологии / В.С. Козлов, М.Н. Тетеркина, Д.В. Рубинштейн, М.Ю. Троицкий // Вестник оториноларингологии. – 2008. – № 5. – С. 26–27.
10. Asynchronous Video-Otoscopy With a Telehealth Facilitator / Leigh Biagio, De Wet Swanepoel, Adebolajo Adeyemo, James W Hall 3rd [et al.] // Telemedicine and E-health. – 2013. – No 19(4). – P. 1–7. – DOI: 10.1089/tmj.2012.0161.
11. Patient Use of Low-Cost Digital Videoscopes and Smartphones for Remote Ear and Oropharyngeal Examinations / Y. Cai, Y.J. Zheng, A. Gulati [et al.] // JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery. – 2021 – No 147(4). – P. 336–342.
12. Gueorguiev, V. Digital Cameras as Low-Cost Tools for Telemedicine and e-Health – Opportunities and Constraints. – DOI: 10.5220/0003192906080613 / V. Gueorguiev,

I.E. Ivanov, D. Georgieva // Proceedings of the International Conference on Health Informatics (Healthinf-2011). – 2011. – P. 608–613. – URL: <https://www.scitepress.org/Papers/2011/31929/31929.pdf>.

13. Совершенствование методологии и аппаратно-программного обеспечения получения телемедицинской видеоинформации в космическом полете / О.И. Орлов, И.И. Попова, Ю.Г. Ревякин // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2023. – Т. 57, № 2. – С. 14–19.

REFERENCES

1. Goncharov, I.B. Cosmonaut Medical Care System / I.B. Goncharov, I.V. Kovachevich. – The Mir Orbital Station: Space Biology and Medicine: in 2 Vol. / [Edited by A.I. Grigoriev (chief editor) and others]. – Moscow: State Scientific Center of the Russian Federation – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, 2001. – Vol. 1. Medical Care During Long-Term Spaceflight. – P. 432–454. – Text: direct. – ISBN 5-902119-01-4.
2. Viktorov, A.N. Actual Challenges of Microbiological Safety in Pressurized Volumes of Orbital Stations Over Long-Term Operation / A.N. Viktorov, N.D. Novikova // Aerospace and Environmental Medicine – 1995. – Vol. 29, No 5. – P. 51–55.
3. Modern Challenges in Space Otorhinolaryngology: Materials of the 50s K.E. Tsiolkovsky Scientific Readings / E.I. Matsnev, E.E. Sigaleva, L.G. Efimova, B.S. Zaichenko // K.E. Tsiolkovsky and Problems of Space Medicine and Biology. – URL: [//readings.gmik.ru/lecture/2015-SOVREMENNIE-PROBLEMI-OTORINOLARINGOLOGII-V-KOSMICHESKOY-MEDITSINE?ysclid=mrurn8gnosh42264822](http://readings.gmik.ru/lecture/2015-SOVREMENNIE-PROBLEMI-OTORINOLARINGOLOGII-V-KOSMICHESKOY-MEDITSINE?ysclid=mrurn8gnosh42264822) (access on: 21.07.2026).
4. ENT Disease Diagnosis and Treatment onboard the Mir Orbital Station and the ISS / V.V. Bogomolov, A.V. Polyakov, I.I. Popova, E.I. Matsnev [et al.] // Aerospace and Environmental Medicine – 2020. – Vol. 54, No 3. – P. 22–27.
5. Diagnosis and Treatment of Dental Diseases Aboard the Mir Orbital Station and the International Space Station / V.V. Bogomolov, A.V. Polyakov, I.I. Popova [et al.] // Aviakosm. and Environmental Medicine – 2018. – Vol. 52, No 5. – P. 19–22.
6. Validating Telemedicine Technologies for Spaceflight Medical Support During the Implementation of the 1st stage of the BIMS Experiment / I.I. Popova, O.I. Orlov, I.B. Goncharov, Yu.G. Revyakin; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, State Scientific Center of the Russian Federation – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences. – Moscow: SSC RF – IBMP RAS, 2011. – P. 219–228. – (International Space Station. Russian Segment. Vol. 1). – Text: direct.
7. Current Status and Prospects for the Use of Information and Telecommunication Technologies in Dentistry / V.M. Levanov, E.A. Golub, A.I. Agashina, E.P. Gavriloza // Telemedicine and E-Health Journal. – 2021. – No 1. – P. 39–48.
8. Coates, S.J. Teledermatology: from Historical Perspective to Emerging Techniques of the Modern Era: Part I: History, Rationale, and Current Practice / S.J. Coates, J. Kvedar, R.D. Granstein // Journal of the American Academy of Dermatology. – 2015. – Vol. 72, Is. 4. – P. 576–586.

9. Specific Features of Telemedicine Consultations in Otorhinolaryngology / V.S. Kozlov, M.N. Teterkina, D.V. Rubinstein, M.Yu. Troitsky // *Bulletin of Otorhinolaryngology*. – 2008. – No 5. – P. 26–27.
10. Asynchronous Video-Otoscopy With a Telehealth Facilitator / Leigh Biagio, De Wet Swanepoel, Adebolajo Adeyemo, James W Hall 3rd [et al.] // *Telemedicine and E-health*. – 2013. – No 19(4). – P. 1–7. – DOI: 10.1089/tmj.2012.0161.
11. Patient Use of Low-Cost Digital Videoscopes and Smartphones for Remote Ear and Oropharyngeal Examinations / Y. Cai, Y.J. Zheng, A. Gulati [et al.] // *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery*. – 2021. – No 147(4). – P. 336–342.
12. Gueorguiev, V. Digital Cameras as Low-Cost Tools for Telemedicine and e-Health – Opportunities and Constraints / V. Gueorguiev, I.E. Ivanov, D. Georgieva // *Proceedings of the International Conference on Health Informatics (Healthinf-2011)*. – 2011. – P. 608–613. – URL: <https://www.scitepress.org/Papers/2011/31929/31929.pdf> (access on: 22.07.2026).
13. Improving Methodology, Hardware and Software for Obtaining Telemedicine Video Feeds in Spaceflight / O.I. Orlov, I.I. Popova, Yu.G. Revyakin // *Aerospace and Environmental Medicine*. – 2023. – Vol. 57, No 2. – P. 14–19.