УДК 613.614:613.693

# Оценка и прогнозирование состояния здоровья человека в длительных космических полетах. Современное состояние и перспективы

**Р. М. Баевский**
Государственный Научный Центр Российской Федерации –
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

**Резюме**

Статья посвящена новой научной концепции оценки и прогнозирования функциональных состояний организма и результатам ее реализации при исследовании сердечно-сосудистой системы в условиях космического полета. Рассмотрены теоретические основы учения о здоровье. Представлены результаты исследований вегетативной регуляции кровообращения в космосе. Специальное внимание уделяется перспективам развития исследований по оценке и прогнозированию функционального состояния организма на Международной Космической Станции и в межпланетных полетах. Описываются новые аппаратно-программные комплексы, которые разрабатываются для использования в будущих космических полетах. Обсуждаются проблемы оценки состояния здоровья членов экипажа при полете на Марс. В связи с этим рассматриваются результаты наиболее длительного в истории космонавтики 14-месячного полета. Показано, что для сохранения сердечно-сосудистого гомеостаза при длительном пребывании человека в космосе в процесс адаптации включаются все новые дополнительные механизмы регуляции. В заключение описывается проект трехуровневой медицинской информационной системы для будущего межпланетного полета.

**Ключевые слова:** здоровье, космическая медицина, вегетативная регуляция кровообращения, сердечно-сосудистый гомеостаз, оценка и прогнозирование функциональных состояний, международная космическая станция, межпланетные полеты, медицинская информационная система.

**Клин. информат. и Телемед.**
**2006. Т.3. Вып.4. с.47–59**

## Введение

Поскольку данная статья посвящена проблемам разработки и применения методов оценки и прогнозирования состояния здоровья человека в условиях космического полета, целесообразно начать ее с известного высказывания И. П. Павлова «Наука движется толчками в зависимости от успехов, делаемых методикой. С каждым новым шагом методики мы поднимаемся ступенью выше, откуда открывается нам более широкий горизонт с невидимыми ранее предметами». Именно таким путем шло развитие космической медицины, где получение новых фактов, новых экспериментальных данных непосредственно зависит от прогресса в области методов исследования, и способов сбора и передачи медико-физиологической информации.

Когда готовился полет Юрия Гагарина, нельзя было и мечтать об установке на борт космического корабля современной клинико-физиологической аппаратуры, а тем более о проведении сложных экспериментов в условиях космического полета. Не только жесткие ограничения по массе и объему научного оборудования, но и необходимость передачи информации с борта космического объекта на Землю по телеметрическим каналам требовали поиска новых путей для изучения влияния факторов полета на организм человека, в том числе для исследования механизмов регуляции кровообращения в космосе [30].

Уже тогда стали искать пути повышения информативности физиологических исследований в космосе. Одними из способов повышения информативности получаемых данных является разработка новых методов их анализа. Первые полеты в космос дали импульс развитию нового метода анализа электрокардиограммы – измерению колебаний (вариабельности) длительности сердечного цикла от удара к удару. В условиях невесомости у животных была отмечена выраженная колеблемость ритма сердечных сокращений, глубины и частоты дыхания. Значительная вариабельность продолжительности кардиоинтервалов наблюдалась во время орбитальных полетов у Ю. А. Гагарина и Г. С. Титова [1]. Эти изменения могут рассматриваться как нарушения обратной связи в системе автоматического регулирования, где управляющим звеном является головной мозг, а управляемым – внутренние органы и анализаторы. Подобная концепция обеспечивает возможность экспериментального исследования процессов управления физиологическими процессами в организме путем изучения колебаний сердечного ритма и других показателей.

Возникшая в космической медицине около 40 лет назад идея анализа вариабельности RR-интервалов электрокардиограммы с целью изучения механизмов регуляции кровообращения оказалась очень плодотворной и, как известно, в настоящее время анализ вариабельности сердечного ритма в нашей стране и во всем мире является одной из самых популярных методик и широко используется в различных областях медицины и физиологии [8, 27].

Сейчас уже общепризнано, что анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) является интегральным методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека и животных, в частности общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы.

Благодаря исследованиям вегетативной регуляции кровообращения в космосе возникла и получила признание новая научная концепция оценки и прогнозирования функциональных состояний организма (4). Эта концепция, развиваемая нами более четверти века, становится все более популярной, приобретает все больше последователей. Настоящая статья посвящена изложению этой концепции и результатов ее реализации при исследовании сердечно-сосудистой системы в условиях космического полета. Мы полагаем, что используемая в космической медицине методология оценки уровня здоровья может быть с успехом применена в различных областях здравоохранения, в восстановительной медицине, в физиологии труда и спорта, в профилактической медицине, в прикладной физиологии.

# 1. Теоретические основы учения о здоровье

Определение здоровья Всемирной Организацией Здравоохранения как полного физического, психического и социального благополучия, а не только отсутствия болезней и физических дефектов, является в значительной мере философским. Среди других многочисленных других определений здоровья следует обратить на характеристику здоровья как конкретного качественно специфического состояния организма, обеспечивающего достижение им своего функционального оптимума [4]. Для достижения оптимума, для обеспечения своего гармонического единства с окружающей средой организм должен постоянно изменять свое функциональное состояние. Поэтому здоровье можно рассматривать как процесс непрерывного приспособления к изменениям окружающей среды. Таким образом, мерой здоровья можно считать способность организма приспособиться, адаптироваться к окружающей среде. Мы назвали этот критерий здоровья адаптационными возможностями организма [5].

Переход от здоровья к болезни связан со снижением адаптационных возможностей организма, с уменьшением его способности адекватно реагировать не только на социально – трудовые, но и на обычные повседневные нагрузки. На границе между здоровьем и болезнью возникает целый ряд переходных состояний, получивших название донозологических. В 1978 году в Большой медицинской энциклопедии появился термин «диагноз донозологический» [3]. С тех пор начал развиваться новый раздел функциональной диагностики – донозологическая диагностика, задачей которого является распознавание и оценка донозологических состояний, пограничных между нормой и патологией.

Переход от нормы к патологии, связанный со снижением адаптационных возможностей организма, сопровождается ростом степени напряжения регуляторных систем (СН) и уменьшением функциональных резервов (ФР). Под функциональными резервами мы понимаем информационные, энергетические, метаболические ресурсы организма, обеспечивающие его конкретные адаптационные возможности. Для того чтобы мобилизовать эти ресурсы при изменении условий окружающей среды необходимо определенное напряжение регуляторных систем. В результате при донозологических состояниях достигается равновесие между организмом и средой, обеспечивается нормальный уровень функционирования основных жизненно важных систем организма сохраняется внутри- и межсистемный гомеостаз. В случае значительного снижения функциональных резервов возникает перенапряжение регуляторных систем, а затем и их истощение, следствием чего является полом адаптационного механизма [18]. В результате возникает патологическое состояние, болезнь.

Рассматриваемая концепция оценки адаптационных возможностей организма представлена на рис. 1 в графическом виде. Прежде всего остановимся на двух фундаментальных понятиях современной физиологии – гомеостаз и адаптация. Гомеостаз – это сохранение постоянства среды внутри организма, адаптация – это процесс обеспечения равновесия между организмом и окружающей средой. Согласно нашей концепции, гомеостаз оценивается по уровню функционирования основных, жизненно важных систем организма (частота пульса, артериальное давление, минутный объем, потребление кислорода и т.д.). Процесс адаптации можно оценить по степени напряжения регуляторных систем, которая зависит в основном от функциональных резервов. Но конкретные адаптационные возможности организма зависят так же от условий окружающей среды (климат, сезон года и др.) и от индивидуальных особенностей организма (возраст, пол, профессия, физическое развитие, генетические факторы и т.п.).

В прикладном аспекте оценка адаптационных возможностей возможна на основе изменения степени напряжения регуляторных систем. В интервале между состояниями нормы и патологии мы выделили 10 условных уровней напряжения регуляторных систем [4,5]. Подобную схему оценки функциональных состояний мы назвали «лестницей состояний», но она приобрела популярность как система «Светофор» (см. рис. 2).

Выделение зеленой, желтой и красной зон здоровья позволяет характеризовать функциональное состояние человека с точки зрения риска развития болезни. Шкала «Светофор» хорошо понятна каждому человеку, будь то водитель или пешеход. ЗЕЛЕНЫЙ означает, что все в порядке, можно двигаться дальше без опасений. Не требуется никаких специальных мероприятий по профилактике и лечению. ЖЕЛТЫЙ указывает на необходимость повышенного внимания к своему здоровью. Функциональное состояние организма таково, что «нужно остановиться и осмотреться, прежде чем двигаться дальше». Иными словами, здесь речь уже идет о необходимости проведения оздоровительных и профилактических мероприятий, о более внимательном отношении к своему состоянию. Следует обратить внимание на то, что желтая зона состоит из двух частей: первой, отражающей состояния напряжения и перенапряжения механизмов адаптации, и второй, соответствующей их истощению. Таким образом, дифференцируются собственно донозологические состояния от преморбидных, требующих более глубокого медицинского обследования. Наконец, КРАСНЫЙ показывает, что дальше двигаться нельзя, необходимо провести серьезные мероприятия в отношении своего здоровья. Здесь необходима диагностика, а затем и лечение возможных заболеваний.

Переход от здоровья к болезни является самой сложной теоретической и практической проблемой медицинской науки. От ее решения зависит вся организация здравоохранения и оказания медицинской помощи населению. До сих пор она решалась в рамках нозологического подхода: рассматривался один класс здоровых людей и множе-

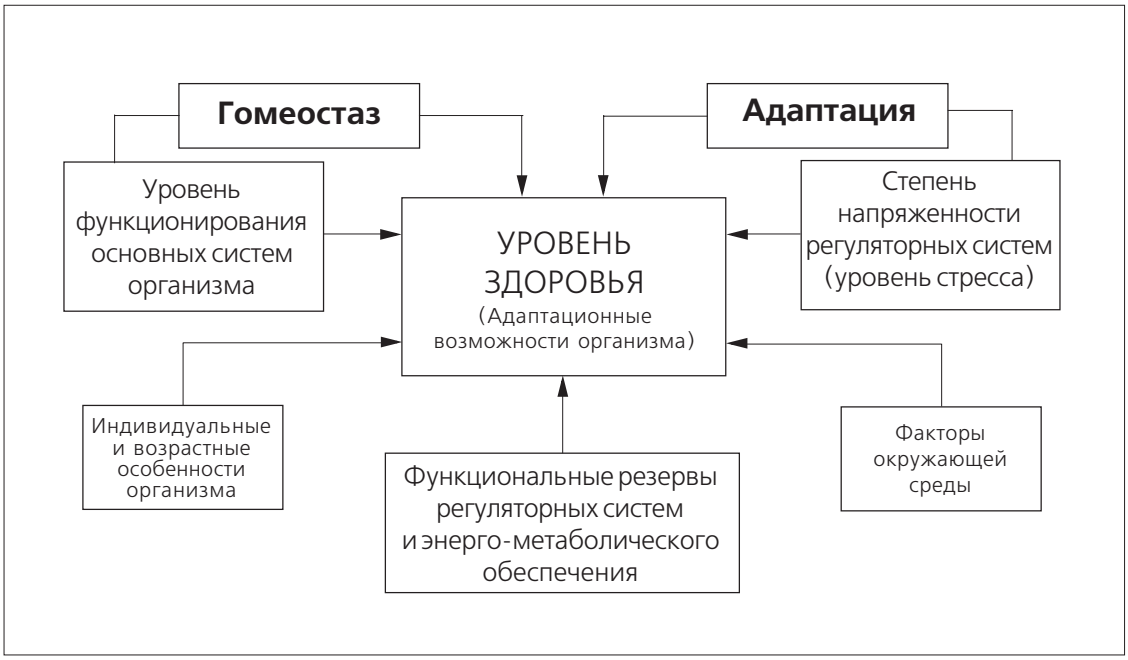


**Рис. 1. Уровень здоровья как результат совместной деятельности механизмов адаптации и гомеостаза.**

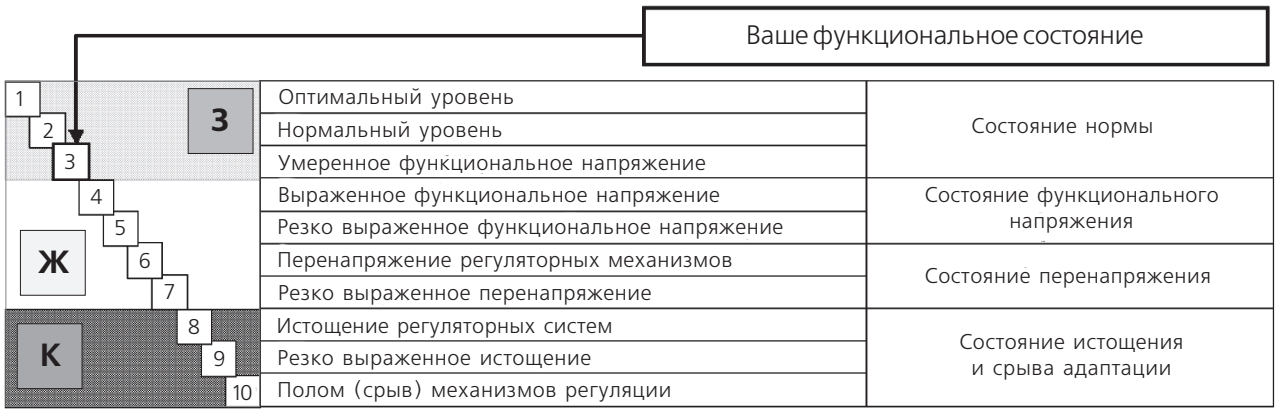


**Рис. 2. «Лестница состояний» и система оценки функциональных состояний типа «Светофор» (З — зеленый, Ж — желтый, К — красный).**

ство классов заболеваний. Космическая медицина дала стимул развитию донозологического подхода, при котором рассматривается множество классов (уровней) здоровья и один класс — болезнь (как результат нарушения, срыва механизмов адаптации).

Вместе с развитием новой методологии оценки здоровья развивались и конкретные методы ее практической реализации. Еще в 60-е годы в космической медицине получила развитие концепция о сердечно-сосудистой системе как об индикаторе адаптационных реакций всего организма [17]. Тогда же были разработаны методы оценки активности различных звеньев механизма регуляции системы кровообращения на основе анализа вариабельности сердечного ритма. Подробное изложение основных положений этого метода содержится во многих публикациях, в том числе в нашей обширной статье, опубликованной в данном журнале в 2004 году [11]. Поэтому здесь нет необходимости подробно останавливаться на этом вопросе

# 2. Исследование вегетативной регуляции кровообращения в условиях космического полета

Анализ ВСР, возникнув в области космической медицины более чем 40 лет назад, применялся при исследовании космонавтов во всех космических полетах на космических транспортных кораблях и на орбитальных станциях [10]. Первые исследования вегетативной регуляции кровообращения в космическом полете с использованием анализа вариабельности сердечного ритма были проведены в полетах кораблей «Восток-3» и «Восток-5» [1, 2]. На основании результатов исследований членов космических экипажей на ОС «Салют-6» и «Мир» был накоплен ценный экспериментальный материал [7], который позволил в дальнейшем развить и углубить концепцию о сердечно-сосудистой системе как индикаторе адаптационных реакций всего организма.

На рис. 3 представлены образцы гистограмм и спектров, полученных на разных этапах космического полета. За 10 минут до старта отчетливо видно преобладание очень низкочастотных колебаний в спектре, что отражает повышенную активность центрального контура регуляции. На активном участке полета по гистограмме можно видеть дальнейший рост симпатоадреналовой активности. Увеличение высоты гистограммы и ее сужение указывают на рост индекса напряжения (или стресс индекса). Однако уже на 2-м витке, через 3 часа после выхода на орбиту картина существенно меняется: гистограмма становится низкой и широкой, что говорит об активации парасимпатического отдела, а в спектре появляется мощная низкочастотная компонента, отражающая активацию вазомоторного центра. Это ответ регуляторных систем на перераспределение крови в верхние отделы тела, это сигнал об активной работе подкоркового сосудодвигательного центра. Наконец, данные, полученные на 4-м месяце пребывания в условиях невесомости показывают одновременную активность парасимпатического(по гистограмме)

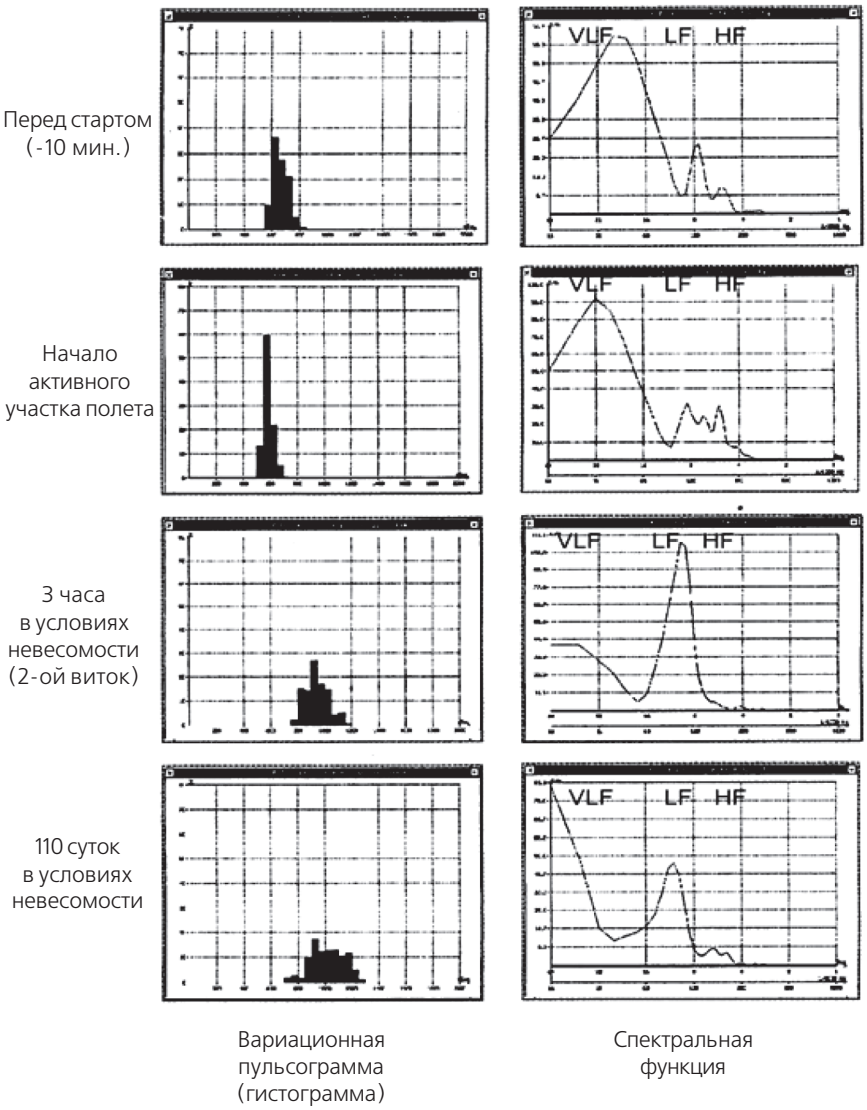


**Рис. 3. Изменения гистограмм и спектров сердечного ритма на разных этапах космического полета.**

и симпатического (по спектру) отделов. При этом одновременно активирован и вазомоторный центр, что видно по низкочастотному компоненту спектра.

О том, что регуляторные механизмы в условиях длительного космического полета постоянно «работают» свидетельствует график динамики ряда показателей вариабельности сердечного ритма, обобщающий данные многолетних исследований на ОС «Мир» (рис. 4). Эти данные получены при анализе 259 записей в фазе покоя у 32 членов экипажей на разных этапах космических полетов продолжительностью до 8 месяцев [7, 10]. Прежде всего следует отметить, что среднее значение частоты пульса изменяется очень мало (на 3–4 уд/мин). Показатель вегетативного баланса pNN50 демонстрирует тенденцию к снижению, к постепенному усилению симпатических влияний, а индекс напряжения снижается на 2–3-м месяцах полета и увеличивается на 4–6-месяцах. При анализе данных был выявлен также отчетливый рост относительной мощности высокочастотных колебаний ко 2-му месяцу полета и сохранение высокой активности парасимпатической активности на фоне роста симпатической. На 6, 7 и 8-м месяцах полета наблюдается перенастройка регуляторных механизмов. Резкий рост активности вазомоторного центра (достоверное увеличение LF, %) указывает на возможную адаптационную перенастройку сосудистой регуляции, что может быть обусловлено дальнейшим развитием процессов адаптации к дли-

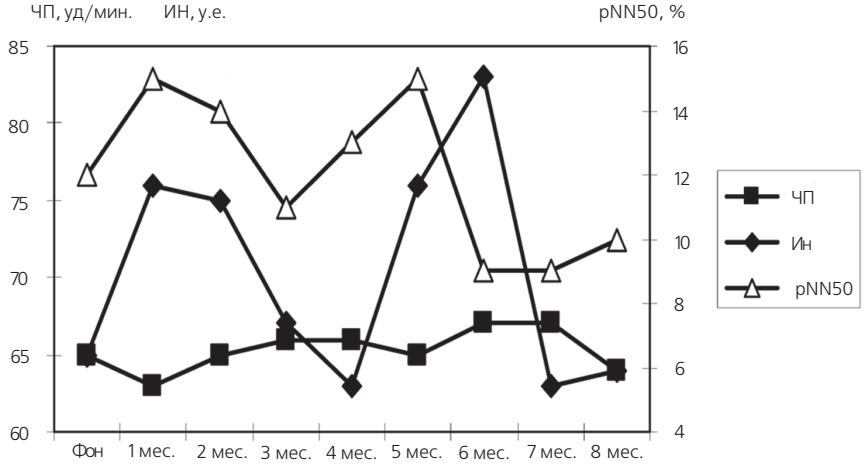


**Рис. 4. Динамика средних значений частоты пульса и показателей вегетативного баланса (Ин и pNN50) в длительных космических полетах на О.С. «Мир».**

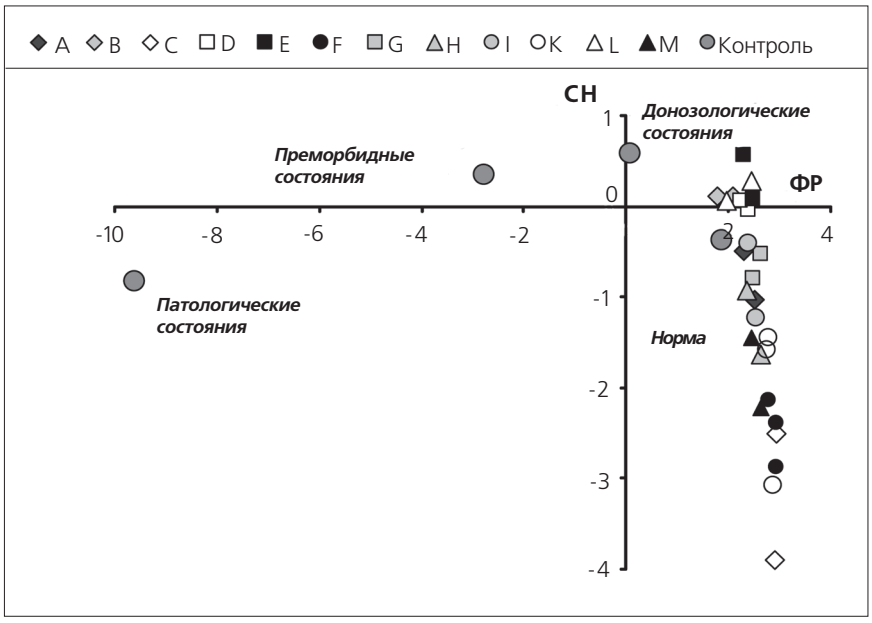


**Рис. 5. Функциональные рехзервы (ФР) и степень напряжения (СН) в различных группах по материалам массовых обследований (контроль) и у космонавтов (A, B, ... K, L), совершавших более 1 полета на орбитальной станции «Мир» и на МКС.**

тельному действию невесомости. Выраженный рост очень низкочастотного компонента спектра ВСР (VLF) на 8-м месяце полета свидетельствует в пользу такого предположения.

Результатом многолетних исследований на ОС «Мир» можно считать установление важной роли механизмов вегетативной регуляции в сохранении сердечно-сосудистого гомеостаза при воздействии стрессорных факторов на протяжении всего полета [7, 11]. Известные стадии адаптации к условиям невесомости получают более четкую интерпретацию с точки зрения теории адаптации.

1. Острый период адаптации в первые 7–10 дней космического полета характеризуется активацией различных звеньев механизма вегетативной регуляции. Происходит поиск нового уровня вегетативного баланса адекватного условиям невесомости.

2. Период неустойчивой адаптации, которые продолжается в течение первых 2–3-х месяцев космического полета. Он характеризуется активацией различных звеньев механизма вегетативной регуляции и завершается мобилизацией дополнительных функциональных резервов на 2–4-м месяцах полета.

3. Период относительно устойчивой адаптации начинается с 3–4-го месяца космического полета. Наблюдается постепенный переход в режим саморегуляции на новом уровне вегетативного баланса, адекватном условиям невесомости.

Следует специально подчеркнуть высокую индивидуальность адаптационных реакций космонавтов. В зависимости от индивидуального типа вегетативной регуляции каждый космонавт имеет свою зону нормы, в рамках которой изменяется его функциональное состояние. Выход за пределы этой нормы прогностически неблагоприятен. Была изучены результаты исследований, проведенных в полете у космонавтов, совершивших по 2–3 полета [26]. На рис. 5 представлены обобщенные данные этих исследований в виде среднеполетных координат функционального состояния, вычисленных на основании разработанной нами математической модели [9]. На фазовой плоскости СН–ФР (степень напряжения регуляторных систем – функциональный резерв). Здесь отмечены координаты четырех подгрупп контрольной группы лиц с различными функциональными состояниями и индивидуальные среднеполетные координаты функциональных состояний космонавтов, которые отражают усредненные за весь период пребывания в невесомости значения СН и ФР. Как видно повторные полеты одних и тех же космонавтов дают совпадающие или близко расположенные среднеполетные координаты функциональных состояний. Таким образом, полученные данные показали, что функциональное состояние отдельных космонавтов, совершавших повторные полеты с интервалом в несколько лет, достаточно однотипно. Это дает основание говорить не только о выраженности индивидуальных особенностей вегетативной регуляции в полете, но и об их устойчивости.

Важно отметить, что лишь отдельные полеты выходят за пределы зоны физиологической нормы. Однако, по нашему мнению, космонавты, функциональное состояние которых квалифицируется как донозологическое, на самом деле являются людьми с резко выраженным симпатотоническим типом вегетативной

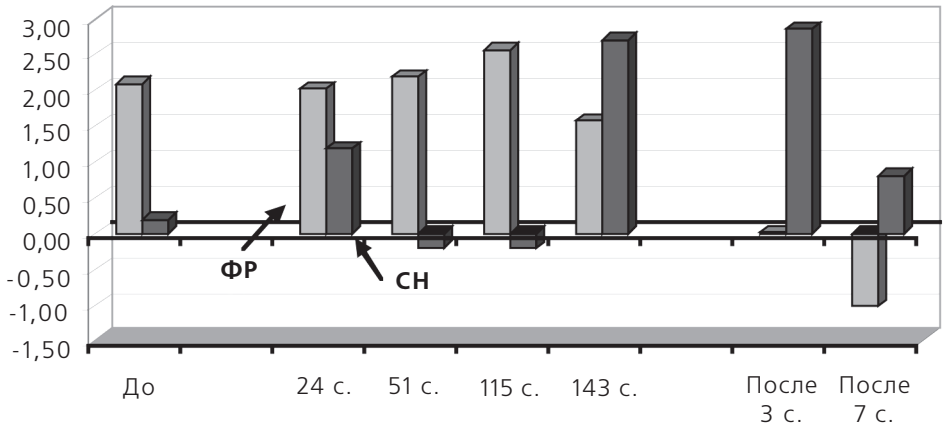


**Рис.6. Изменения СН и ФР во время и после полета у одного из членов экипажа МКС.**

регуляции. Поэтому стандартная шкала функциональных состояний, установленная по результатам обследования контрольной группы, применительно к популяции космонавтов требует пересмотра с учетом более активного образа жизни и постоянного хронического стресса, которые характерны для этой категории людей.

В ходе длительного космического полета функциональное состояние космонавтов характеризуется определенной динамикой. На рис. 6. показаны результаты исследований в одном из последних полетов на МКС. Здесь представлены данные о функциональных резервах (ФР) системы регуляции и ее степени напряжения (СН), полученные с помощью разработанной нами математической модели [16]. Как видно, в ходе длительного космического полета имеются значимые изменения СН без существенных изменений ФР. Так, в начале полета, на 24 сутки пребывания в условиях невесомости СН значительно возрастает, указывая на развитие процессов адаптации к условиям невесомости. В последующий период полета вегетативный баланс устанавливается на новом уровне с некоторым преобладанием парасимпатического звена регуляции и существенным снижением СН. В конце полета вновь наблюдается рост СН, что, вероятно обусловлено подготовкой к спуску и явлениями утомления. При этом в течение всего полета ФР сохраняются на уровне близком к исходному. Весьма демонстративны послеполетные данные. На 2-е сутки после полета наблюдается высокое значение СН на фоне значительного снижения ФР. На 7-е сутки периода реадаптации СН снижается, но отмечается также дальнейшее снижение и ФР, что по-видимому связано с большим расходом функциональных резервов на поддержание восстановительных процессов.

# 3. Перспективы развития исследований по оценке и прогнозированию функционального состояния организма на МКС и в межпланетных полетах

Системы кровообращения и дыхания играют ведущую роль в обеспечении адаптации организма к условиям окружающей среды. В новых необычных условиях невесомости сохранение необходимого уровня функционирования этих систем во многом зависит от работы регуляторных механизмов. Эксперимент «Пульс» который регулярно проводится на МКС с целью исследования механизмов вегетативной регуляции кардиореспираторной системы, явился стимулом к дальнейшему развитию подобных исследований в космосе [21, 25]. Предполагается модифицировать проводимый эксперимент «Пульс» с целью получения более обширной информации о состоянии различных звеньев системы управления физиологическими функциями. С этой целью в течение последних 5 лет совместно с Немецким авиакосмическим центром и Клиникой Шарите Университета им. Гумбольдта в Берлине готовится новый прибор «Пневмокард» [23]. С его помощью дополнительно можно исследовать регуляцию гемодинамики и сократительной функции сердца. Многочисленные клинические и физиологические исследования с этим прибором позволили получить обширные материалы, позволяющие уточнить критерии перехода из состояния физиологической нормы в донозологические и преморбидные состояния, что очень важно для оценки данных, получаемых в условиях космического полета. Бортовой образец нового прибора будет более миниатюрным, более удобным в эксплуатации, фиксация датчиков будет более простой и надежной . Важно отметить и то, что прибор «Пневмокард» будет работать в той же информационной среде, что и прибор «Пульс». Это значит, что у них будут совместимые базы данных и программные средства. Это позволит сопоставлять данные, полученные ранее в эксперименте «Пульс», с более поздними исследованиями, проводимыми с помощью «Пневмокарда».

Следующий шаг в развитии исследований экипажей МКС планируется сделать в отношении пред- и послеполетных исследований космонавтов. Предполетные исследования необходимо рассматривать не только как получение исходных фоновых данных для оценки результатов полетных и послеполетных исследований. Это важный материал для прогнозирования вероятных в полете патологических отклонений. Речь должна идти не столько о традиционном клиническом подходе

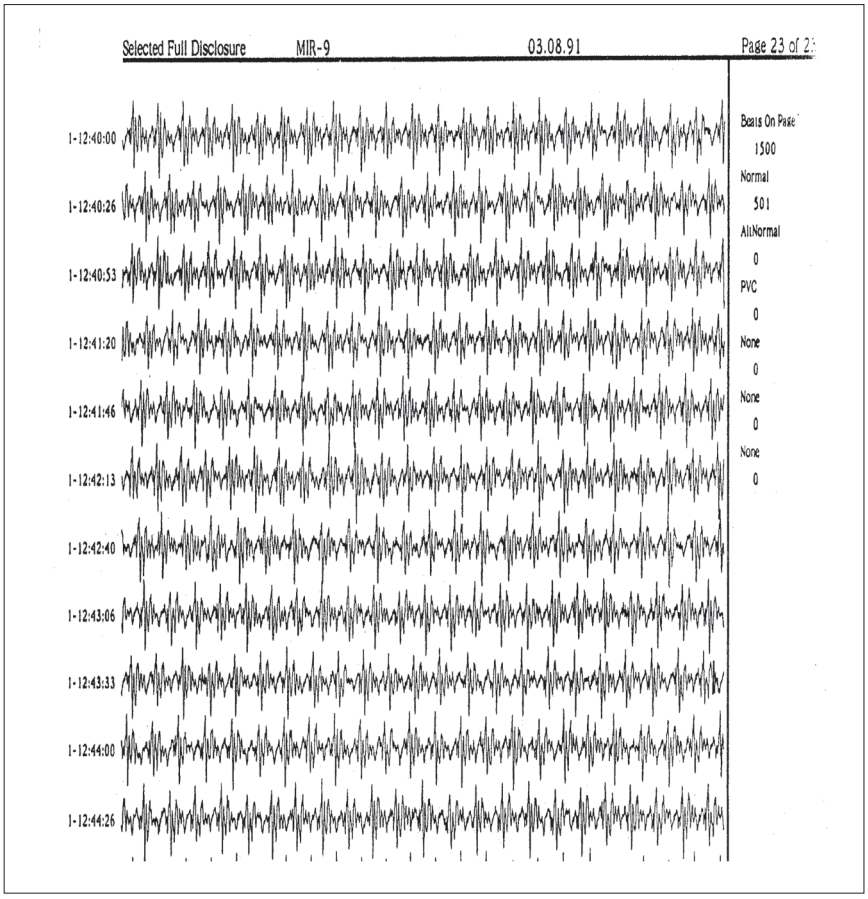


**Рис. 7 . Образец бесконтактной записи баллистокардиограммы, зарегистрированной во время сна на борту орбитальной станции МИР.**

к прогнозу, сколько о прогнозировании возможных изменений уровня здоровья, адаптационных возможностей организма. Здесь ведущую роль играет определение изменений на информационно-временном уровне живой системы, которые предшествуют развитию отклонений на энергетическом и метаболическом уровнях. Основываясь на параметрах вегетативной регуляции кардиореспираторной системы, оцениваемых с помощью бортовых комплексов «Пульс» и «Пневмокард», для пред- и послеполетных обследований космонавтов разрабатывается новая система под названием «Резерв» [29]. Она будет иметь значительно более обширный набор измеряемых параметров (до 25), которые можно регистрировать в любой комбинации по 8 каналам. Регистрация сигналов будет проводится в процессе выполнения разнообразных клинико - физиологических, психо-физиологических и психологических тестов.

При создании комплекса «Резерв» была разработана новая концепция построения аппаратуры для пред- и послеполетного обследования космонавтов. Сущность этой концепции заключается в сочетании бортовых и наземных требований к сбору, обработке, анализу и хранению данных. Предлагаются следующие три ключевых положения:

1) создание единой программы регистрации данных, в которой бортовые методики органически дополнялись бы более обширным набором клинических методов и тестов;

2) формирование единой базы данных по результатам исследований, проводимых в полете и в наземных пред- и послеполетных обследованиях;

3) разработка программного обеспечения, позволяющего обрабатывать и анализировать как полетные, так и наземные записи.

Комплекс «Резерв» разрабатывается на основе синтеза методических подходов космической физиологии и клинической медицины. В данном комплексе реализованы как классические кардиологические методики (ЭКГ, ИПГ, ФКГ и др.), так и методы, традиционно применяющиеся в космической медицине. Наряду с этим используются и новые методы для прогнозирования развития аритмий и ишемических нарушений (ЭКГ высокого разрешения и дисперсионное картирование ЭКГ). Комплекс «Резерв» позволит проводить оценку текущего функционального состояния и прогнозирование возможного перенапряжения и истощения механизмов адаптации, ведущего к развитию патологических изменений кардиореспираторной системы и механизмов ее регуляции. Разрабатываемые новые программные средства позволят в полной мере реализовать все те идеи и научные концепции оценки и прогнозирования функциональных состояний, которые были изложены выше.

Следующим шагом в развитии аппаратурно-программных средств для МКС будет установка на борт нового комплекса «Сонокард» [22]. Этот комплекс разрабатывается на основе опыта, полученного при проведении исследований на ОС «Мир» [6, 19]. Речь идет о принципиально новом методе оценки состояния здоровья, созданном в космической медицине и связанном с бесконтактной регистрацией физиологических показателей во время сна. В 90-е годы в космической медицине был разработан бесконтактный метод оценки функционального состояния, основанный на регистрации баллистокардиограммы с помощью датчика, закрепленного на спальном мешке космонавта [6, 20, 28]. На рис. 7 представлен образец бесконтактной регистрации баллистокардиограммы на борту орбительной станции «Мир». Метод с успехом прошел испытания в ходе нескольких длительных экспедиций и, в частности, во время рекордно длительного полета врача-космонавта В. В. Полякова. Исследования, проведенные в ходе космических полетов, позволили установить корреляции между функциональным состоянием космонавтов и показателями, регистрируемыми с помощью метода бесконтактной баллистокардиографии. В связи с этим были начаты работы по реализации этой методологии на Земле. В последние два года эти исследования и разработки проводятся при поддержке Международного научно-технического центра [24].

Исследования во время сна с помощью датчика, размещенного на спальном месте, представляют особый интерес в виду возможности получения информации о функциональном состоянии во время сна. Преимущества такой методологии очевидны:

а) условия исследования по своей комфортности не отличаются от условий обычного (привычного) сна;

б) возможность непрерывного длительного мониторирования параметров кар-

диореспираторной системы и двигательной активности;
в) возможность контроля и диагностики нарушений вегетативной регуляции, возникающих во время сна;
г) возможность оперативного выявления отклонений, угрожающих жизни (например, апноэ, аритмия или нарушения коронарного кровообращения);
д) возможность динамической оценки качества сна. Таким образом, открываются новые возможности проведения медицинского контроля за состоянием здоровья космонавтов на основе бесконтактной регистрации физиологических функций в ночной период суток.

В последние годы интенсивно разрабатываются проекты, связанные с возможностью пилотируемого полета на Марс [22]. При этом большое внимание уделяется вопросам обеспечения безопасности полета и надежности работы экипажа. Важной предпосылкой успешного осуществления марсианской экспедиции является способность организма человека адаптироваться к условиям длительного космического полета без существенных изменений земного уровня функционирования основных жизненно важных систем. Анализ состояния организма космонавтов во время и после продолжительного пребывания в невесомости не выявил каких-либо патологических отклонений, препятствующих постепенному увеличению длительности пилотируемых полетов. Однако, исследованиями на ОС «Мир» и на МКС у членов экипажей были выявлены функциональные изменения нейрогормональной регуляции, указывающие на то, что сохранение гомеостаза основных жизненно важных систем организма обеспечивается благодаря активной деятельности регуляторных систем [22, 24]. Это означает, что медицинский контроль при пилотируемых полетах к Марсу наряду с традиционным подходом, должен быть направлен и на оценку состояния регуляторных систем, поскольку именно перенапряжение механизмов регуляции и связанное с ним снижение функциональных резервов является одним из главных факторов риска развития заболеваний.

В связи с вышеизложенным, целесообразно рассмотреть некоторые результаты наиболее длительного в истории космонавтики 14-месячного полета врача – космонавта В. В. Полякова. На примере этого полета мы считаем целесообразным рассмотреть проблему долговременной адаптации организма человека к условиям невесомости. В этом космическом полете были проведены уникальные исследования, которые имеют важное значение не только для космической медицины, но и для физиологии и медицины в целом. Как показали проведенные исследования, в течение 14-месячного полета сердечно-сосудистый гомеостаз поддерживался на уровне, близком к земному, с несколько более низкими значениями систолического и диастолического артериального давления начиная с 5–6-го месяца полета [13, 24].

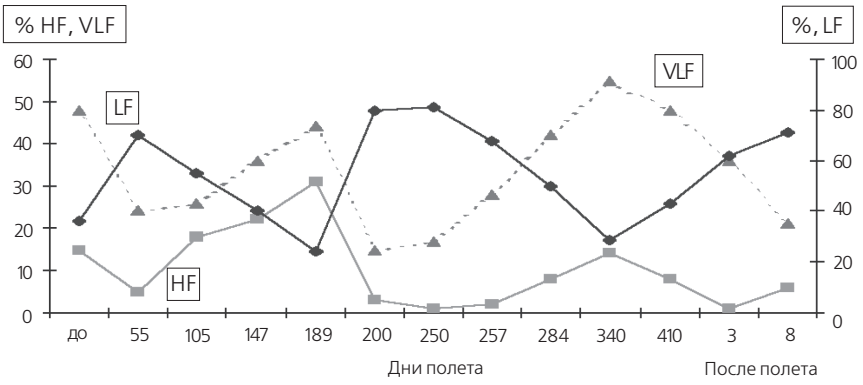


**Рис. 8. Динамика относительных значений мощности спектральных составляющих ВСР в 14-месячном космическом полете.**

Однако сохранение сердечно-сосудистого гомеостаза, как мы знаем, имеет свою «физиологическую цену» и обеспечивается активной деятельностью соответствующих регуляторных механизмов. Деятельность регуляторных механизмов хорошо иллюстрирует представленная на рис. 8 динамика показателей мощности спектра вариабельности сердечного ритма в различных частотных диапазонах, характеризующих активность подкоркового вазомоторного центра (LF), состояние энерго-метаболического (VLF) и парасимпатического (HF) звеньев регуляции. На рисунке видно, что к началу 7-го месяца полета (189-е сутки) увеличивается тонус обоих отделов вегетативной нервной системы, что, возможно, является ответом на снижение активности вазомоторного центра и направлено на сохранение нормального артериального давления (хотя и сниженного по сравнению с предполетным уровнем. Однако в дальнейшем, на 8–9-й месяц полета, наблюдается резкий рост активности вазомоторного центра на фоне снижения тонуса обоих отделов вегетативной нервной системы. Наконец, новое существенное повышение активности симпатического звена вегетативной регуляции отмечается на 11–12-й месяц полета в ответ на снижение активности вазомоторного центра. Ключ к объяснению этих особенностей адаптационного процесса может быть получен при рассмотрении данных об изменениях сократительной функции сердца, связанных с метаболическими и энергетическими процессами в миокарде и данных об ультрадианных ритмах физиологических функций, которые могут быть исследованы в полете на основании анализа длительных ночных записей сердечного ритма.

Известно, что для поддержания сердечно-сосудистого гомеостаза, т.е. сохранения нормального уровня минутного объема кровообращения и нормального артериального давления, должны регулироваться работа сердечного насоса и тонус сосудистой системы. Поэтому насосная функция сердца, требующая расходования энергетических и метаболических ресурсов, является одним из важнейших объектов управления со стороны механизмов вегетативной регуляции. Для оценки насосной функции сердца в космическом полете использовались две методики: сейсмокардиография (СКГ) для оценки общей суммарной работы сердца и баллистокардиография (БКГ) для оценки внешней работы сердца. Как показали результаты исследований, уже со 2-го месяца полета амплитуда БКГ увеличилась почти вдвое. Это может быть связано с тремя обстоятельствами:

1) уменьшением объема циркулирующей крови,

2) ростом давления в малом круге кровообращения,

3) исчезновением гравитационного компонента кровообращения.

Все эти причины ведут к увеличению скорости (и ускорения) изгнания крови желудочками (росту кинетической энергии сердечного выброса. Резкий рост внешней работы сердца наблюдался на 250-е сутки полета, что совпадает с максимумом активности симпатического отдела вегетативной нервной системы (ростом индекса напряжения регуляторных систем) и максимумом активности вазомоторного центра. Вполне резонно поэтому считать рост внешней

работы сердца инотропным эффектом увеличения симпатического тонуса. При этом можно говорить и о повышении эффективности сердечных сокращений (рост *кпд* сердца). Иную картину демонстрирует динамика амплитуды СКГ. Во время полета изменения амплитуды СКГ выражены очень незначительно. Только начиная с 11-го месяца амплитуда СКГ растет, и к концу полета она вдвое превышает предполетный уровень. Однако максимальной величины амплитуда СКГ достигает после приземления. На 3-и сутки после возвращения на Землю амплитуда СКГ в 70 раз превышает исходные значения. Поскольку при этом амплитуда БКГ не только не растет, но и падает, можно говорить о резком снижении эффективности (*кпд*) работы сердца.

Итак, если обобщить изложенные выше данные о вегетативной регуляции кровообращения и сократительной функции сердца в длительном космическом полете, то можно выявить важные и интересные закономерности. Для сохранения сердечно-сосудистого гомеостаза при длительном пребывании в космосе регуляторные механизмы должны постоянно «искать» наиболее оптимальные соотношения между работой сердечного насоса и сосудистым тонусом. При этом, несмотря на регулярные физические тренировки космонавтов и систематическое выполнение ими всего комплекса профилактических мероприятий, в условиях длительной невесомости продолжают действовать такие факторы, как сниженная афферентация и как следствие этого уменьшение барорефлекторной чувствительности, перераспределение крови в верхнюю часть тела, сниженный объем циркулирующей крови. Поэтому в процесс адаптации включаются все новые дополнительные механизмы регуляции, которые действуют в направлении сохранения сложившегося сердечно-сосудистого гомеостаза.

Результаты 14-месячного полета во многом расширили наше представление о регуляции физиологических функций в условиях длительной невесомости. Считалось, что сложившийся к 5–6-му месяцу полета сердечно-сосудистый и вегетативный гомеостаз, водно-солевой и гормональный баланс и новые уровни функционирования других систем организма сохраняются в течение длительного времени. Однако, как мы видели на примере сердечно-сосудистого гомеостаза, его сохранение при увеличении длительности полета свыше 6 месяцев требует определенной «физиологической цены», определенного напряжения регуляторных систем. В ходе 14-месячного полета удалось также выяснить некоторые новые важные особенности работы регуляторного механизма. Для этого были использованы данные эксперимента «Ночь», который регулярно проводился в полете [6, 19, 20]. Эксперимент «Ночь» имел своей основной целью изучение сердечной деятельности и дыхания в ночной период суток с помощью специальных бесконтактных датчиков, вмонтированных в спальный мешок космонавта. Об этом уже говорилось выше. Важной практической задачей этого эксперимента была отработка метода постоянного бесконтактного контроля за состоянием здоровья космонавтов. Такой

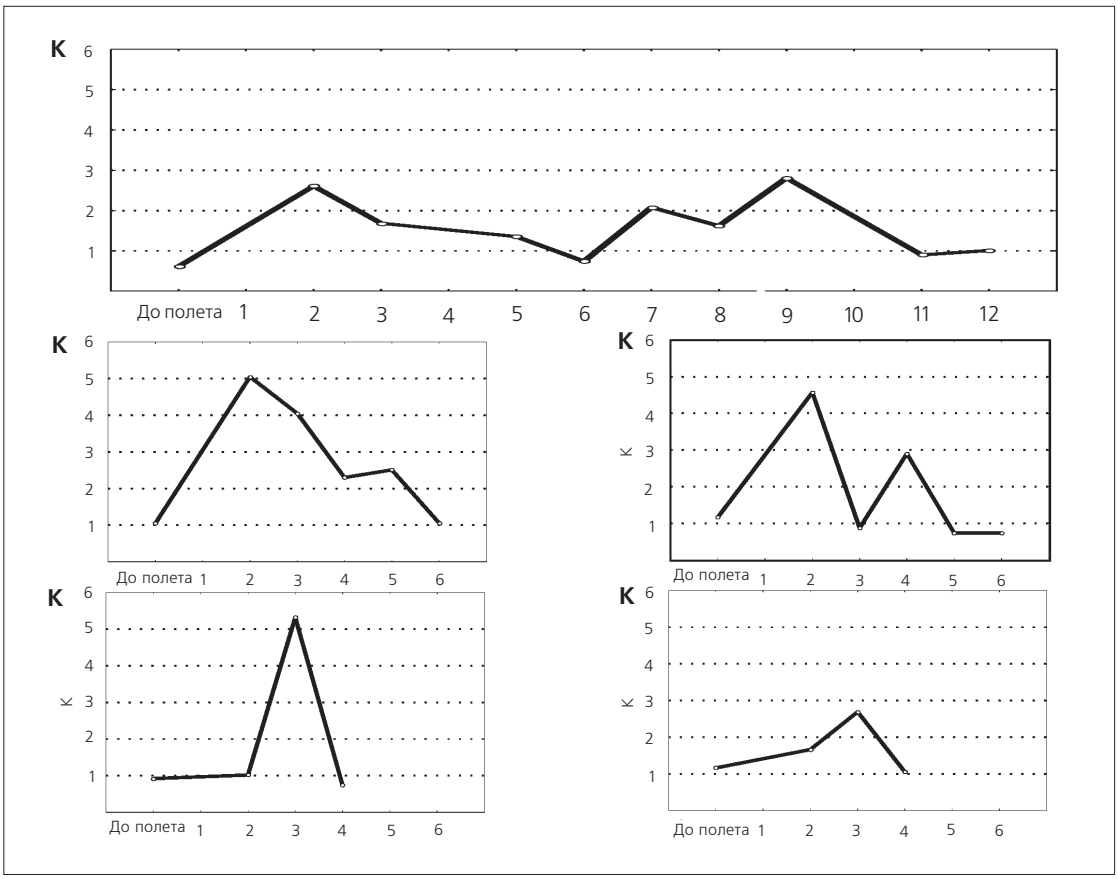


**Рис. 9. Степень активации высших вегетативных центров (по значениям коэффициента K) в полугодовых полетах и в 14 месячном космическом полете.**

метод имеет большие перспективы в будущем при организации орбитальных станций с большим числом членов экипажа и в межпланетных полетах. Здесь важно отметить, что бесконтактная регистрация физиологических функций в ночной период суток была впервые апробирована в длительном 14-месячном полете при участии врача-космонавта Валерия Полякова.

Используя бесконтактный метод регистрации во время сна, мы имели возможность проанализировать длительные многочасовые записи частоты пульса и исследовать так называемые сверхмедленные ритмы физиологических функций. К таким ритмам, в частности, относятся 90-минутные волны, связанные с циклами сна. По мнению многих исследователей, сверхмедленные колебания физиологических параметров с периодами, равными десяткам минут и часам, отражают состояние высших уровней управления вегетативными функциями, таких как гипоталамус, гипофиз, кора головного мозга Рассмотрим динамику только одного показателя активности высших вегетативных центров – коэффициента К, который представляет собой отношение мощности спектра волн часового диапазона (60–120 мин) к мощности спектра волн минутного диапазона (3–30 мин). На рис. 9 представлена динамика коэффициента К в 14-месячном полете. Следует отметить, что аналогичные исследования, проведенные в 4-х длительных 5–6-месячных полетах показали, что на 2–4-м месяцах пребывания в космосе наблюдается рост коэффициента К, связанный с активацией высших вегетативных центров. Но в 14-месячном полете мы наблюдали с 5-го до 9-го месяца дополнительную последовательную активацию высших вегетативных центров с постепенным ростом величины коэффициента К. Изучение длительности периодов часовых волн показало, что одновременно с ростом амплитуды часовых волн рос и их период; это указывает на активацию уровней регуляции все более высокого порядка.

Полученные данные в определенной стерени коррелируют с результатами исследования содержания гормонов в крови, которые проводились в 14-месячном полете [12, 13]. На 170-е сутки полета концентрация адреналина и норадреналина превышала предполетный уровень более, чем в 4 раза, а на 287-е сутки – более, чем в 3 раза. Таким образом, предположение о том, что рост сверхмедленноволновой периодики сердечного ритма отражает рост активности регуляторных звеньев гипоталамо-гипофизарного уровня подтверждается данными гормональных исследований. Следовательно, это дает основание утверждать, что сохранение сердечно-сосудистого гомеостаза при длительном действии на организм разнообразных стрессорных факторов связано с последовательным включением в процесс адаптации все более высоких уровней управления физиологическими функциями. Этот вывод имеет фундаментальное значение не только для космической медицины.

Экипаж марсианской экспедиции будет длительное время находиться в условиях хронического стресса, что обусловлено не только удаленностью от Земли, изоляцией и полной автономностью существования корабля. Здесь будут действовать и социально-бытовые причины (групповое психологическое взаимодействие), и условия труда (монотонность и напряженность), и физические факторы (длительная невесомость и возможные «всплески» космической радиации). В этих условиях нельзя исключить обострение «дремлющих» в любом организме очагов инфекции, хронических заболеваний или начальных бессимптомных форм патологии.

Все эти факторы риска должны учитываться при реализации столь сложного и беспрецедентного проекта, как полет к Марсу. Выход из строя хотя бы одного члена экипажа может поставить экспедицию на грань срыва. Поэтому прогнозирование возможных нарушений здоровья должно лежать в основе системы медицинского контроля. Каждый член экипажа должен рассматриваться как самостоятельный и автономный объект прогноза. Математические модели его возможных функциональных состояний должны строиться исходя из типа регуляции и индивидуальных особенностей реагирования с учетом возрастно-половых характеристик и всего массива предполетных данных. Формируемые прогнозы должны исходить как из вероятных в будущем неблагоприятных состояний и заболеваний (нормативное прогнозирование), так и из своевременной оценки неблагоприятных тенденций развития текущего состояния в сторону роста напряжения регуляторных систем и снижения функциональных резервов (исследовательское прогнозирование).

Поскольку одной их главных особенностей полета к Марсу будет полная автономность корабля, невозможность незапланированного возвращения и ограниченность запасов пищи, воды, кислорода, оборудования и снаряжения, то весьма жесткие требования предъявляются и к системе медицинского контроля и прогнозирования состояния здоровья членов экипажа. Поэтому вычислительный комплекс марсианского корабля должен быть оснащен мощной медицинской информационной системой с блоками автоматизированной экспертной оценки данных и с подсистемой телемедицинской связи с наземными консультативными группами. Можно предполагать, что в ходе длительного полета к Марсу медицинская информационная система будет формировать три типа заключений:

1) о текущем функциональном состоянии членов экипажа (по возможности ежедневно);

2) итоговое заключение о состоянии здоровья за определенный интервал времени, например за неделю;

3) клинико-прогностическое заключение по результатам углубленного диспансерного обследования не реже, чем 1 раз за 1–1,5 месяца. Естественно, что методология и конкретные методы указанных видов обследований будут существенно различаться.

Текущее функциональное состояние членов экипажей во время полетов ОС «Мир» и Международной космической станции ежедневно контролировалось и контролируется медицинской группой Центра управления полетами. Этот контроль осуществляется по радиопереговорам экипажа с Землей, по анализу выполняемых экипажем операций, по объективным показателям систем жизнеобеспечения (состав атмосферы, температура и т.п.). В марсианском полете такой контроль будет невозможен. Вместе с тем необходимость ежедневного контроля в сверхдлительном полете многократно возрастает в связи с повышением степени риска возникновения нарушений здоровья. Кроме того, этот контроль должен быть еще более информативным и в интересах прогнозирования возможных отклонений. В качестве средства ежедневного контроля в марсианском полете может быть предложена бесконтактная регистрация физиологических функций во время ночного сна. Основные преимущества этой методики очевидны:

а) она не требует специального времени, так как исследование проходит во время сна;

б) она позволяет получить большой объем разнообразной информации о состоянии сердечно-сосудистой, дыхательной, мышечной системы;

в) она позволяет определять длительность и стадии сна и, таким образом, судить о качестве сна;

г) она дает возможность оценить деятельность механизмов вегетативной регуляции на разных стадиях сна, а также в периоды засыпания и пробуждения.

Для еженедельных исследований (второй уровень системы оценки и прогнозирования состояния здоровья) долж-

на быть разработана методология, которая позволяла бы определять все три компоненты функционального состояния (УФ, СН и ФР) в рамках достаточно простой и короткой схемы измерений для того, чтобы она могла проводиться самостоятельно каждым членом экипажа. Это должна быть стандартная процедура в программе полета с выдачей обследуемому краткого заключения о состоянии здоровья с необходимыми рекомендациями по режиму труда и отдыха и оздоровительно-профилактическим мероприятиям. Создание соответствующей методологии, аппаратуры и программных средств представляет сложную задачу, и над ее решением следует начать работу как можно быстрее. В качестве начального варианта системы еженедельных обследований может быть предложен разработанный для установки на МКС прибор «Пневмокард», дополненный специализированным опросником (автоинтервьюером). Рассматривая систему кровообращения как индикатор адаптационных реакций всего организма, мы можем использовать данные, получаемые с помощью «Пневмокарда», как ключ к пониманию процессов адаптации организма к условиям невесомости. Здесь важную роль играет анализ вариабельности физиологических показателей, в колебаниях которых заключена информация о состоянии различных звеньев регуляторного механизма.

Третий уровень системы оценки и прогнозирования состояния здоровья членов марсианского экипажа, по нашему представлению, должен являться многоцелевым клинико-диагностическим комплексом с мощной системой экспертных оценок. В таком комплексе, по нашему мнению, должны быть блоки анкетного опроса, психологического тестирования, оценки умственной и физической работоспособности, исследования состояния всех основных жизненно важных систем и органов, биохимических исследований.

Пожалуй, главным элементом системы оценки и прогнозирования состояния здоровья членов марсианского экипажа будет информационно-аналитический комплекс – вычислительная системы, содержащая все программы анализа информации, банк данных, системы искусственного интеллекта, участвующие в экспертной оценке данных, базу знаний, справочную систему. В этом комплексе будут формироваться заключения о состоянии здоровья и прогнозы. С информационно-аналитическим комплексом будет соединен телемедицинский блок, обеспечивающий связь с медицинскими консультационными группами на Земле. В задачи этого блока будет входить и передача на Землю основной информации о здоровье членов экипажа, получаемой на всех трех уровнях исследования. Естественно, потребуется отбор информации, подлежащей обязательной передаче и разработка методов сжатия (кодирования) данных.

# Заключение

В результате многолетних исследований в рамках космической медицины разработана новая концепция оценки и прогнозирования состояния здоровья членов экипажей во время длительных космических полетов. Эта концепция, основанная на представлениях теории адаптации и учения о гомеостазе, реализована в виде конкретных технологий исследования, которые активно применяются не только в космической медицине, но и в практике здравоохранения. Благодаря космической медицине продолжается развитие методов прогнозирования вероятных патологических отклонений при воздействии на организм стрессорных факторов окружающей среды. Сейчас концептуальный подход к донозологическим и преморбидным состояниям как к определенным стадиям развития патологии дополняется конкретными прогностическими методиками. Такие методики разрабатываются исходя из современных представлений о структурно-функциональной организации биологических систем. Традиционный акцент на изучение энерго-метаболических процессов в организме уступает место пониманию первичности информационно-временных нарушений как причины последующих сдвигов на уровнях энергетического обмена и обмена веществ. На этом пути наиболее далеко продвинулась космическая кардиология. Наряду с широким применением методов анализа вариабельности сердечного ритма идет активная подготовка к внедрению методов электрокардиографии высокого разрешения (ЭКГ ВР) для прогнозирования вероятности развития аритмий [14, 16] и дисперсионного картирования электрокардиограммы (ДК ЭКГ) для выявления скрытых нарушений коронарного кровообращения [15]. Развиваются методы оценки синхронизации электрических, механических и гемодинамических процессов в сердечно-сосудистой системе. Формируется новое научное направление – прогностическая кардиология, в задачи которой входит получение опережающей информации о вероятных в будущем признаках патологии на основе использования донозологического подхода. Предполагается, что методы прогностической кардиологии, которые в настоящее время проходят клиническую апробацию, вскоре начнут активно использоваться на Международной космической станции в планируемых экспериментах «Пневмокард», «Сонокард» и «Резерв».

В ближайшие годы космической медицине предстоит решить принципиально важный вопрос о дополнении штатных систем медицинского контроля за состоянием здоровья членов экипажей методами оценки функциональных резервов и состояния регуляторных механизмов. Без этого не может быть и речи о прогнозировании начальных проявлений патологии, что крайне важно в длительных космических полетах. Здесь особенно актуальным будет применение методов и технологий прогностической кардиологии.

Новый шаг в развитии системы оценки и прогнозирования состояния здоровья в длительных космических полетах может быть сделан на основе следующих положений.

1. Сердечно-сосудистая система является чувствительным индикатором адаптационных реакций всего организма. Ее регуляция отражает все уровни управления физиологическими функциями. Процессы управления (информационные процессы) играют ведущую роль при адаптации организма к новым необычным условиям окружающей среды, особенно к экстремальным, стрессорным факторам.

2. Процессы адаптации носят стадийный характер и хорошему приспособлению к новым условиям окружающей среды предшествует стадия напряжения, регуляторных систем, что связано с необходимостью перенастройки адаптационных механизмов на новый уровень деятельности в новых условиях и с мобилизацией необходимых для этого функциональных резервов. Поэтому, оценка степени напряжения регуляторных систем на разных этапах полета позволяет судить о «цене адаптации», т.е. о способности организма сохранять гомеостаз основных жизненно важных систем без перенапряжения и истощения регуляторных механизмов.

3. Длительное напряжение регуляторных механизмов (высокая «цена адаптации») ведет к развитию так называемых донозологических состояний, когда организм для выполнения стандартной деятельности должен расходовать значительно больше функциональных резервов, чем обычно. В дальнейшем возникает перенапряжение и истощение регуляторных механизмов с развитием преморбидных состояний и различных патологических отклонений.

Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии является особенно необходимым при межпланетных полетах. Там развитие патологии у любого из членов экипажа может поставить под угрозу срыва всю экспедицию. В связи с этим возможно более раннее выявление признаков вероятного заболевания является жизненно необходимым. Поэтому мы должны научиться решать эту важную задачу как можно раньше, чтобы использовать найденные решения при подготовке первого пилотируемого полета к Марсу.

*Автор благодарит своих сотрудников И. И. Фунтову, Г. А. Никулину и А. Г. Черникову за участие в работе и предоставленные материалы. Особая благодарность академику РАН А. И. Григорьеву и академику РАМН В. И. Баранову за постоянное внимание к нашим исследованиям и за их поддержку.*

**Литература**

1. Баевский Р. М., Газенко О. Г., Реакция сердечно-сосудистой системы человека и животных в условиях невесомости Космические исследования 1964, в.2.
2. Баевский Р. М. Физиологические методы в космонавтике, М., Наука, 1965, 256 с.
3. Баевский Р. М., Казначеев В. П. Диагноз донозологический. М., БМЭ, 1978, т.7, с. 253–255.
4. Баевский Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии, М, Медицина, 1979, 296 с.
5. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М., Медицина, 1997, 236 с.
6. Баевский Р. М., Поляков В. В., Мозер М., Никулина Г. А, Фунтова И. И., Черникова А. Г. Адаптация системы кровообращения к условиям длительной невесосмости: Баллистокардиографические исследования во время 14-месячного космического полета, Авиакосмическая и экологическая медицина, 1998, 3, с. 23–30.
7. Баевский Р. М, Никулина Г. А., Фунтова И. И., Черникова А. Г. Вегетативная регуляция кровообращения. В кн; Орбитальная станция «Мир», т. 2, 2000, с. 123–145.
8. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. Вестник аритмологии, 2001, 24, 67–95.
9. Баевский Р. М., Черникова А. Г., К проблеме физиологической нормы: Математическая модель функциональных состояний на основе анализа вариабельности сердечного ритма. Авиакосмическая и экологическая медицина, 2002, 6, с.11–17.
10. Баевский Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма в космической медицине. Физиология человека, 2002, 2, 70–82.
11. Баевский Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма: История и философия, теория и практика. Клиническая информатика и телемедицина, 2004, 1, с.54–64.
12. Григорьев А. И., Носков В. Б., Поляков В. В. и др. Динамика реактивности гормональной регуляции при воздействии ОДНТ во время длительного космического полета. Авиакосм. и эколог. мед., 1998, №3, с. 18–23.
13. Григорьев А. И., Баевский Р. М. Концепция здоровья и проблема нормы в космической медицине. М., «Слово», 2001, 96 с.
14. Иванов Г. Г., Грачев С. А., Сыркин А. Л. Электрокардиография высокого разрешения. М., Медицина, 2002.
15. Иванов Г. Г., Кудашева И. А. Метод дисперсионного картирования ЭКГ-сигнала с использованием электродинамической модели сердца 7-ая Научно-практическая конференция «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы», 23 марта 2005 г. М., с.72–77.
16. Кабулова А. З., Иванов Г. Г., Пащенко А. В., Баевский Р. М. Исследование диагностической и прогностической значимости метода электрокардиографии высокого разрешения при действии факторов космического полетаю Авиакосмическая и экологическая медицина (в печати).
17. Парин В. В., Баевский Р. М., Волков Ю. Н., Газенко О. Г. Космическая кардиология. Л., «Медицина», 1967, 206 с.
18. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. М.: Медгиз, 1960, 207 с.
19. Baevsky R. M., Moser M., Nikulina G. A. et al. Autonomic Regulation of circulation and cardiac contractility during a 124-month space flight. Acta Astronautica, 1998, 42, №1-8, p.159–173.
20. Baevsky R. M. Noninvasive methods in space cardiology, J. Cardiovasc. Diagn. a. Proced.,1997, vol.14, N 3, p.1–11.
21. Baevsky R. M., Baranov V. M., Bogomolov V. V., Drescher J., Funtova I. I., Tank J. Experiments «Pulse» and «Pneumocard» aboard the International space station. The prospects for development of an automated medical monitoring system. 54-th Internationa Asronautical Congress, October 2003, Bremen, Germany.
22. Baevsky R. M., Bogomolov V. V., Funtova I. I. Contactless ballistocrdiogram recording during sleep as a perspective technology for the medical monitoring system in a mission to Mars. 53rd Congress IAF, Houston, Oct. 2002.
23. Baevsky R. M., Funtova I.I., Diedrich A., Pashenko A. V., Chernikova A. G., Drescher J., Baranov V. M., Tank J. Autonomic function testing on board the ISS — update on «Pneumocard». 58-th IAC, 15–20 Oktober 2005, Fokuoka, Japan.
24. Baevsky R. M, Funtova I. I, Pashchenko A. V., Chernikova A. G., Sudarev A. M. The contactless registration system for physiological signal registration in the sleep// EMBEC'05 — the 3rd European Medical and Biological Engineering conference, November, 2005, Prague.
25. Baranov V. M., Baevsky R. M., Drescher J., Tank J. Investigations of the cardiovascular and respiratory systems on board the international space station: experiments «Puls» and «Pneumocard». 53-th Internationa Asronautical Congress, October, 2002, Houston.
26. Chernikova A. G. Heart rate variability in evaluation of functional state and types of autonomic regulation under conditions of space flight/ 26-th Annual International Gravitational Physiology Meeting. Abstracts. 26 June–1 July 2005. Cologne, Germany, p. 60.
27. Heart rate variability. Standards of measurement, physioligical interpretation and clinical use . Circulation. – 1996. – Vol. 93. – P. 1043–1065.
28. Baevsky R. M., Funtova I. I. The ballistocardiography in long-term space flights as a method of medical control. Japanese J. Aerospace and Environment. Med., 1997, v.34, No.4, pp.152–153.

29. Pashenko A. V., Baranov V. M., Baevsky R. M., Shubin A. B. System «Reserve» for pre- and post flight cardiorespiratory system examinations of cosmonauts // EMBEC'05 — The 3rd European Medical and Biological Engineering conference, November, 2005, Prague.
30. Parin V. V., Baevsky R. M., Gazenko O. G. Heart and circulation under space conditions. Cor et Vasa, 1965, v.7, No.3, p.165–182.

## Estimation and forecasting of the human health state in long term space flights. Modern condition and prospects

***R. M. Baevsky***
*SRC of the Russian Federation — Institute of biomedical problems of the Russian Academy of Science Moscow*

**Abstract**

Manuscript is devoted to the new scientific concept of an estimation and forecasting of organism functional state and results of its realization at research of cardiovascular system in conditions of space flight. Theoretical bases of the doctrine about health are considered. Results of researches of vegetative regulation of blood circulation in space are submitted. The special attention is given prospects of development of organism functional state estimation and forecasting at the International Space Station and in interplanetary flights. New hardware-software complexes which are developed for use in the future space flights are described. Problems of an estimation of a crew members health state at flight to Mars are discussed. In this connection results of the14-month's flight longest in a history of astronautics are considered. It is shown, that for preservation of a cardiovascular homeostasis at long stay of the person in space in the process of adaptation includes a new additional regulatory mechanisms. The project of three-level medical information system for the future interplanetary flight is in summary described.

**Key words:** health, space medicine, vegetative regulation of blood circulation, cardiovascular homeostasis, estimation and forecasting of functional states, international space station, interplanetary flights, medical information system.

## Оцінка і прогнозування стану здоров'я людини в тривалих космічних польотах. Сучасний стан і перспективи

***Р. М. Баєвський***
*Державний Науковий Центр Російської Федерації — Інститут медико-біологічних проблем РАН, Москва*

**Резюме**

Стаття присвячена новій науковій концепції оцінки і прогнозування функціональних станів організму та результатам її реалізації при дослідженні серцево-судинної системи в умовах космічного польоту. Розглянуто теоретичні основи учення про здоров'я. Представлено результати досліджень вегетативної регуляції кровообігу в космосі. Спеціальна увага приділяється перспективам розвитку досліджень з оцінки і прогнозування функціонального стану організму на Міжнародній Космічній Станції та у міжпланетних польотах. Описуються нові апаратно-програмні комплекси, що розробляються для використання в майбутніх космічних польотах. Обговорюються проблеми оцінки стану здоров'я членів екіпажа при польоті на Марс. У зв'язку з цим розглядаються результати найбільш тривалого в історії космонавтики 14-місячного польоту. Показано, що для збереження серцево-судинного гомеостазу при тривалому перебуванні людини в космосі в процес адаптації включаються всі нові додаткові механізми регуляції. На закінчення описується проект трирівневої медичної інформаційної системи для майбутнього міжпланетного польоту.

**Ключові слова:** здоров'я, космічна медицина, вегетативна регуляція кровообігу, серцево-судинний гомеостаз, оцінка і прогнозування функціональних станів, міжнародна космічна станція, міжпланетні польоти, медична інформаційна система.

### Переписка

д.мед.н., профессор **Р. М. Баевский**
Государственный научный центр РФ — Институт медико-биологических проблем РАН
Хорошевское шоссе 76а,
123007, Москва, Россия
тел.: +7 (495) 1936244
эл. почта: rmb@imbp.ru