

СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ

*Государственный научный центр РФ - институт медико-биологических проблем, Москва, Россия,
-Лаборатория клинической фармакологии, Париж, Франция

Представлены результаты мониторинга динамики суточных колебаний артериального давления и частоты пульса, полученные во время длительного пребывания космонавтов в невесомости в 1996-99 гг. в рамках российско-французской научной программы.

Ключевые слова: суточное мониторирование артериального давления, вариабельность сердечного ритма, космический полет, невесомость.

Presented are the data of 24-hour monitoring of blood pressure and heart rate, obtained during a long-term stay of cosmonauts under weightlessness in 1996-1999 in the limits of joint Russian-French scientific program.

Key words: 24-hour monitoring of blood pressure, heart rate variability, space flight, weightlessness.

В последние годы большое внимание уделяется изучению суточной динамики артериального давления человека на основе использования портативных носимых мониторов с применением плечевой манжеты и автомата давления. В космосе первые исследования подобного типа были осуществлены в 1996-99 гг. в рамках российско-французской научной программы. Задачами полетных экспериментов были:

- изучение особенностей суточной динамики артериального давления и частоты пульса на разных этапах космического полета;
- выявление связи между суточными изменениями артериального давления и частотой пульса;
- исследование активности различных звеньев вегетативной регуляции в процессе адаптации к условиям космического полета;
- выяснение индивидуальных особенностей сердечно-сосудистого гомеостаза и процессов адаптации при длительном действии невесомости.

Суточное мониторирование артериального давления и частоты пульса в космическом полете имеет не только важное научное значение, но и представляет практический интерес для контроля за функциональным состоянием членов экипажей в ходе полета. Результаты таких исследований могут использоваться для разработки диагностических и прогностических критериев, чтобы в дальнейшем этот метод в космосе мог бы применяться, как и в клинике, для контрольных измерений и исследований по показаниям.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей работе представлены результаты исследований, проведенных во время экспедиций на орбитальную станцию «Мир». Исследования проведены на шести космонавтах, из которых пятеро находились в невесомости не менее шести месяцев. У каждого космонавта измерения проводились на Земле (за 60 и 30 суток до старта), от 3 до 7 раз в ходе космических полетов и в 1-8 суток после возвращения.

В ходе эксперимента проводилось периодическое (один раз каждые 15 минут) в течение суток изме-

рение артериального давления посредством плечевой манжеты аускультативным методом (по тонам Короткова). Одновременно с измерением артериального давления прибор регистрировал среднее за минуту значение частоты пульса. Полученные в полете данные доставлялись на Землю на магнитных носителях для последующей обработки.

Аналізу подвергались динамические ряды значений систолического, диастолического, пульсового, среднего артериального давления и частоты пульса. Анализ данных проводился с помощью стандартного пакета прикладных программ «Statistica». Для каждого измеряемого показателя (по 96 значений за сутки) вычислялись M , SD , m . Кроме того, определялись коэффициенты взаимной корреляции для суточных рядов показателей ЧП (частоты пульса), САД (систолического артериального давления) и ДАД (диастолического артериального давления). По ним вычислялась суммарная корреляционная связь, определяемая по сумме 3-х коэффициентов корреляции. С помощью программ спектрального анализа строились графики спектров суточного ряда показателей ЧП и САД, а также их кросспектральная функция.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Уже в первом полете продолжительностью в 16 суток, где впервые использовался метод суточного мониторирования артериального давления и частоты пульса, были получены новые интересные факты (Funtova I.I., Baevsky R.M., Cuche J.L., 1997). Наряду с известными ранее урежением частоты пульса и некоторым снижением артериального давления в первые дни пребывания в невесомости было установлено ослабление корреляционной связи между частотой пульса, систолическим и диастолическим давлением в суточном цикле. При этом хронобиологическая структура суточного цикла не нарушалась. Наиболее существенным было ослабление связи диастолического давления с остальными показателями. Так, коэффициент корреляции между ДАД и ЧП за два месяца до полета

был $-0,68$, на 6-й день полета он уменьшился до $-0,44$, а на 12 сутки полета снизился вдвое (до $-0,34$). Соответственно для пары показателей ДАД-САД коэффициенты корреляции были равны $-0,60$; $-0,32$ и $-0,42$.

Анализ спектров ЧП и САД в 16-суточном полете показал, что их доминирующие периоды уменьшаются. Для ЧП минимум наблюдался на 6-е сутки полета (с 750 минут в предполетном периоде до 150 минут) и для САД - на 12 и 15 сутки полета (с 270 минут до 120 и 45 минут). Таким образом, наряду с изменениями синхронизации показателей в циркадианном (суточном) ритме, характеризующем влияние факторов окружающей среды на целостный организм, наблюдались и смещения периодов ультрадианных ритмов, отражающих состояние уровней межсистемной регуляции (Сорокин А.А., 1981; Баевский Р.М., 1976).

Эти новые факты свидетельствовали о том, что под влиянием невесомости происходят изменения не только величины основных показателей сердечно-сосудистого гомеостаза - частоты пульса и артериального давления, но и изменения регуляторных механизмов. При этом, как правило, не нарушается структура суточного ритма. Уменьшение синхронизации показателей в суточном цикле и уменьшение доминирующих периодов спектров можно рассматривать как признаки перенастройки высших уровней управления физиологическими функциями. Таким образом, последующие исследования в более длительных космических полетах опирались на рабочую гипотезу о важной роли механизмов регуляции, включая высшие уровни управления, в поддержании сердечно-сосудистого гомеостаза в условиях длительной невесомости.

На рис. 1 представлены среднесуточные значения ЧП, САД, ДАД и ПАД у пяти космонавтов, совер-

шивших полеты длительностью более 6 месяцев. Здесь предполетные данные сравниваются со значениями показателей в первый и последний месяцы полета, а также в 1-й день после приземления. Весьма наглядными являются индивидуальные особенности сердечно-сосудистого гомеостаза. В предполетном периоде умеренная брадикардия наблюдалась у космонавта 1, умеренная тахикардия у космонавтов 3 и 4. Значения САД колебались в пределах от 112 до 128 мм рт.ст., значения ДАД - от 66 до 87 мм рт.ст.

Среднесуточная частота пульса в начальном периоде полета у всех космонавтов снижалась, к концу полета у одного из них она возрастала выше исходного уровня. После полета этот показатель у всех был выше предполетных значений.

Систолическое артериальное давление по сравнению с предполетным уровнем в начальном периоде полета в большинстве случаев снижалось, а к концу полета увеличивалось. После полета этот показатель у всех космонавтов также был выше предполетных значений. Диастолическое артериальное давление в начале полета изменялось так же, как и систолическое, однако в конце полета не увеличивалось. После полета оно только в отдельных случаях немного превышало предполетные значения.

Пульсовое артериальное давление у большинства космонавтов к концу полета было выше предполетного уровня. Также в большинстве случаев этот показатель был выше исходных значений в послеполетном периоде.

Следует подчеркнуть, что изменения среднесуточных значений основных показателей сердечно-сосудистого гомеостаза на разных этапах полета не выходили за пределы физиологической нормы и их коле-

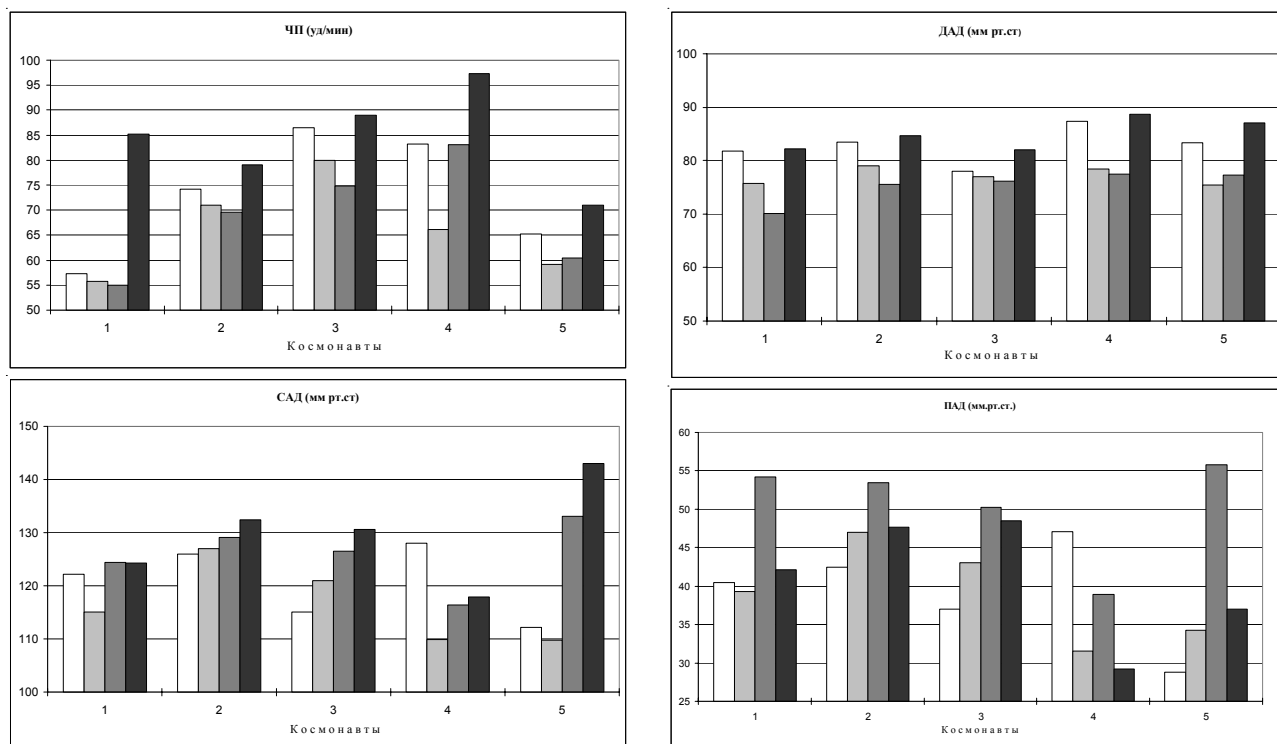


Рис. 1. Среднесуточные значения основных показателей сердечно-сосудистого гомеостаза на разных этапах полета, где □ - предполетный период, ■ - 1-й месяц космического полета, ■ - 5-6-й месяц полета, ■ - 1-й день после приземления.

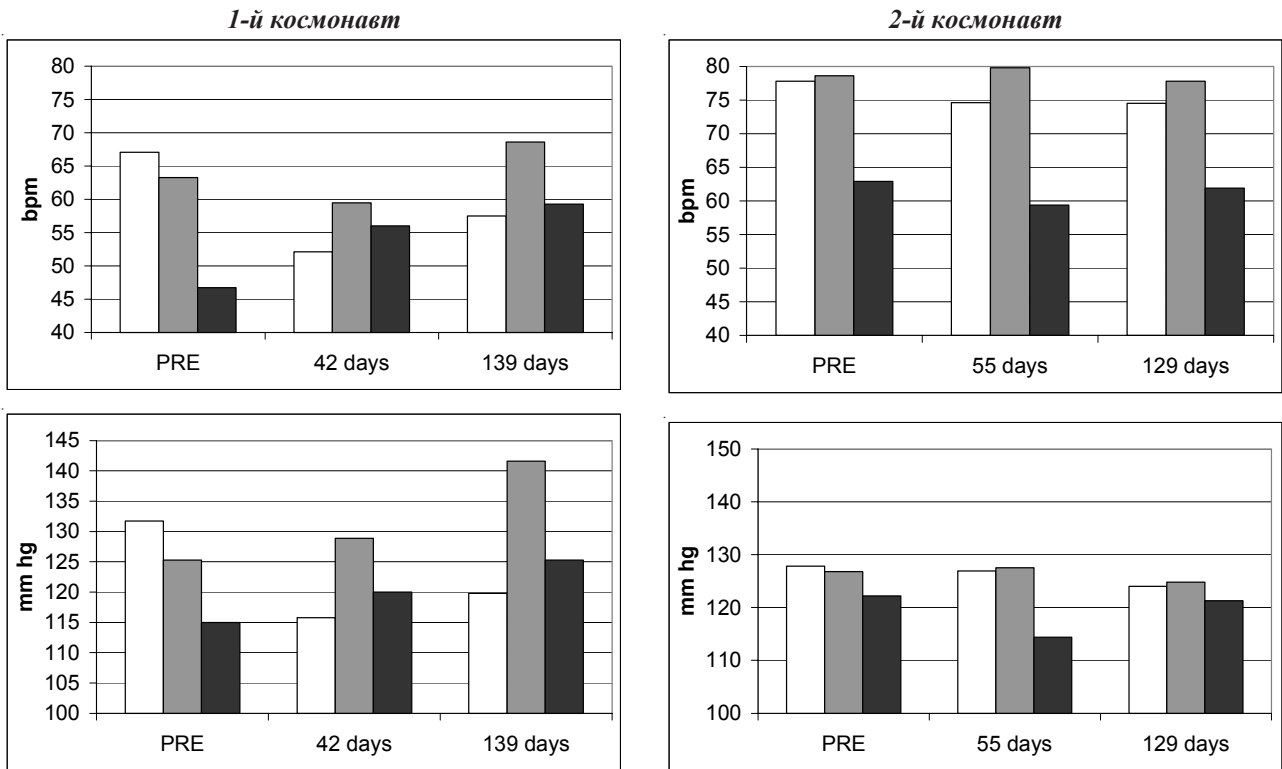


Рис. 2. Внутрисуточные соотношения значений частоты пульса (вверху) и систолического артериального давления (внизу) у космонавтов 1 и 2 на разных этапах космического полета, где □ - утренний, ■ - вечерний и ■ - ночной периоды наблюдения.

бания были связаны с индивидуальными типологическими особенностями механизмов регуляции кровообращения. Так, наибольшие значения пульсового давления наблюдались в конце полета у космонавтов 1, 2 и 5. У 1-го эти изменения отмечались на фоне умеренной брадикардии и сопровождалось снижением диастолического давления.

При изучении суточных изменений физиологических функций большой интерес представляет сравнение утренних, вечерних и ночных значений показателей. На рис. 2 представлены данные о частоте пульса и систолическом артериальном давлении в разные часы суток у двух космонавтов на 2-м и 5-м месяцах космического полета. Как видно из этих данных, у космонавта 1 на 42-е и 139-е сутки полета ночные значения ЧП и САД превышали их утренние значения, а на 139 сутки полета также отмечался существенный рост вечерних значений этих показателей. У космонавта 2, как и у остальных космонавтов, соотношения утренних и ночных значений показателей в полете было таким же, как и перед полетом. Изменения биоритмологической структуры суточного цикла у космонавта 1 можно расценить как признак снижения адаптационных возможностей организма. Рост частоты пульса и артериального давления в ночной период суток указывает на уменьшение функциональных резервов и является прогностически неблагоприятным.

Установившиеся новые взаимосвязи между основными параметрами сердечно-сосудистого гомеостаза явились результатом перенастройки приспособительных механизмов. При этом поддержание этого нового уровня гомеостаза, по-видимому, требует постоянного напряжения регуляторных систем. Косвен-

ным подтверждением признаков перенапряжения может служить усиление внутрисуточных корреляционных связей в конце полета (по сравнению с предполетными значениями) у космонавтов 2 и 5 (рис.3). Вместе с тем у космонавта 2 абсолютная величина корреляционных связей была намного ниже, чем у остальных космонавтов.

Перенастройка регуляторных систем в новых для организма условиях длительного космического полета ведет к изменению не только сердечно-сосудистого гомеостаза, но и вегетативного баланса (Baevsky R.M., Moser M., Funtova I.I. et al., 1998), который тесно связан с состоянием высших вегетативных центров и межсистемными уровнями гуморально-гормонального управления. Эти уровни, как уже указывалось выше, могут быть исследованы путем анализа ультра-

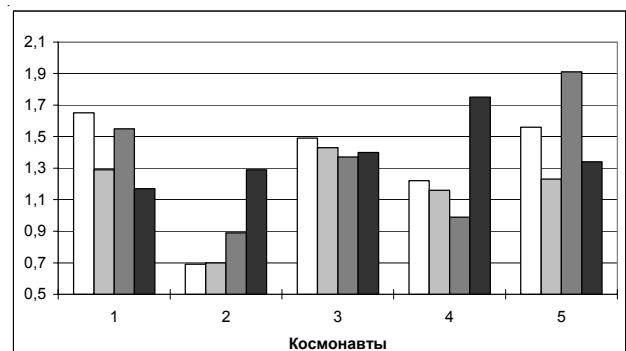


Рис. 3. Суммарная корреляционная связь между суточными изменениями показателей ЧП, САД и ДАД на разных этапах полета, где □ - предполетный период, ■ - 1-й месяц космического полета, ■ - 5-6-й месяц полета, ■ - 1-й день после приземления.

Таблица 1.

Доминирующие периоды (в часах) спектров ЧП и САД и их относительные мощности в различных диапазонах у космонавта 1 до, во время и после космического полета.

Этапы	Доминирующие периоды спектров ЧП и САД (часы)		Относительные значения мощности спектра ЧП и САД в различных диапазонах (усл. ед.)					
			0-150 мин.		150-300 мин.		> 300 мин.	
	ЧП	САД	ЧП	САД	ЧП	САД	ЧП	САД
До полета	0,5	8,5	700	900	250			2900
5 дней	5,5	8,5	180	700		600	270	1000
10 дней	1,5	3,7	220	500		1200	-	
18 дней	10,5	10,5	200	1600	300	1300	900	2200
42 дня	5,0	4,0	320	1400	740	300	-	
139 дней	3,0	-	430	1000	400	1000	-	
200 дней	3,7	2,5	150	2000	440			4400
После полета	1,5	7,0	700	1000		1000		9800

дианных ритмов с периодами от десятков минут до нескольких часов.

Роль высших уровней управления физиологическими функциями организма при адаптации к условиям невесомости хорошо иллюстрируется данными спектрального анализа суточной динамики ЧП и САД. На примере космонавта 1 может быть показано, как постепенно в ходе космического полета изменяется функциональная организация процессов управления частотой пульса и артериального давления. В табл. 1 представлены данные о доминирующих периодах спектров ЧП и САД и о суммарной мощности колебаний в трех диапазонах частот. Увеличение доминирующего периода означает, что в процесс управления включаются все новые регуляторные звенья, поскольку при этом увеличиваются затраты времени на сбор информации с периферических элементов и на обработку информации в нервных центрах. Соответственно перераспределяются соотношения между диапазонами частот и мощностью колебаний.

Из представленных данных видно, что доминирующие периоды ЧП в ходе полета растут, а САД – уменьшаются. Следовательно, управление частотой пульса в полете становится все более сложным, так как оно требует включения все новых звеньев регуляции. Управление уровнем артериального давления наоборот концентрируется на все более низких уровнях. Логика этих изменений, возможно, заключается в том, что ЧП как более интегративный показатель, связанный с психоэмоциональными факторами, энергообменом, метаболизмом и терморегуляцией, в сложных ситуациях должен управляться из все более «высоких этажей» управляющего механизма. Управление систолическим артериальным давлением, которое связано с быстродействующими парасимпатическими звеньями регуляции и контролируемым подкорковым вазомоторным центром, становится все более автономным.

Однако, при более детальном рассмотрении полученных данных видно, что «автономизация» управления артериальным давлением основана на активной помо-

щи высших уровней управления, так как мощность ультрадианных ритмов САД в диапазоне более 300 минут в конце полета возрастает в 1,5 раза.

В условиях длительного космического полета можно наблюдать самые разнообразные индивидуальные варианты изменений периодов и мощностей спектров ультрадианных ритмов ЧП и САД. Эти варианты можно представить в виде табл. 2, где знаками «+» и «-» обозначена тенденция изменений в ходе полета периодов или мощностей ультрадианных ритмов.

Рассмотрим представленные в табл. 2 данные с точки зрения оценки функционального состояния регуляторных механизмов. Передача управления на «верхние» уровни управления указывает на снижение резервных или приспособительных (адаптационных) возможностей нижележащих уровней. Рост мощности спектра отражает активацию соответствующих уровней управления. Таким образом, отмечаемое снижение функциональных резервов регуляции сердечного ритма у космонавтов 1, 2 и 4, только у космонавта 4 сопровождается ростом мощности доминирующих гармоник спектра ЧП.

У космонавта 2 высшие уровни управления одновременно включаются и в процесс регуляции артериального давления. Наименее благоприятной следует считать реакцию космонавта 1, где «автономизация» регуляции САД обеспечивается ростом мощности спектра, по-видимому, за счет активной мобилизации гуморально-гормональных уровней управления (см. выше). Также неблагоприятными можно назвать изменения, наблюдавшиеся у космонавта 5. У него при снижении мощности спектра ЧП не наблюдалось передачи управления на более высокие уровни управления, а активация более высоких гуморально-гормональных звеньев регуляции САД

Таблица 2.

Тенденции изменений периодов и мощностей спектров ультрадианных ритмов ЧП и САД в конце длительного космического полета по сравнению с предполетными значениями.

Параметры		Космонавты				
		1	2	3	4	5
Периоды	ЧП	+	+	0	+	0
	САД	-	+	+	-	+
Мощности	ЧП	-	-	0	+	-
	САД	+	-	+	-	0

где, «+» - тенденция к росту величины показателя, «-» - тенденция к снижению величины показателя, «0» - отсутствие заметных изменений

не сопровождалось усилением мощности спектра доминирующих гармоник САД. Наиболее благоприятной можно назвать реакцию космонавта 3, у которого сохраняется предполетный резерв регуляции ЧП и включаются дополнительные резервы регуляции САД.

Полученные по данным анализа полетных материалов оценки приспособительных возможностей регуляторного аппарата у отдельных космонавтов коррелируют с результатами послеполетной оценки сердечно-сосудистого гомеостаза. Так, у космонавта 1 в послеполетном периоде отмечалось резкое учащение сердечного ритма (в 1,5 раза по сравнению с предполетными значениями) и выраженное снижение корреляционных связей между параметрами в суточном цикле (в 1,4 раза). У космонавта 5, который также отличался низкими приспособительными возможностями в полете, в конце полета был отмечен резкий рост пульсового давления (почти в 2 раза по сравнению с предполетным уровнем). При этом наблюдалось значительное увеличение внутрисуточных корреляционных связей, указывающих на перенапряжение регуляторных механизмов. После полета у этого космонавта среднесуточное значение САД было выше 140 мм рт.ст. при предполетном значении 112 мм рт.ст.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов суточного мониторинга артериального давления и частоты пульса в условиях длительного космического полета позволил подтвердить достоверность одного из важных положений космической кардиологии о том, что при длительном действии невесомости не наблюдается нарушений сердечно-

сосудистого гомеостаза (Grigoriev A.I., Egorov A.D., 1991). Но для его сохранения и поддержания необходима постоянная работа регуляторных механизмов различного уровня, как автономных, так и центральных. В соответствии с известными закономерностями взаимодействия управляющих систем в живом организме центральные механизмы «вмешиваются» в деятельность автономных только в том случае, если последние не обеспечивают получение необходимого результата (В.В.Парин, Р.М.Баевский, 1966). Поэтому необходимым условием адаптации организма к новым для него условиям невесомости является активация все более высоких уровней системы управления.

Перенастройка сердечно-сосудистого гомеостаза на новый, адекватный условиям невесомости, уровень происходит вначале путем ослабления сложившихся на земле функциональных связей между отдельными параметрами гомеостаза. Об этом свидетельствует уменьшение корреляции (синхронизации) между частотой пульса и показателями артериального давления в суточном цикле. Одновременно происходит активация различных звеньев вегетативной регуляции, в том числе активация высших вегетативных центров и корково-подкорковых структур, что отражается изменением доминирующих периодов и мощности различных компонентов спектра ультрадианных ритмов. Затем в зависимости от индивидуальных особенностей и функциональных резервов регуляторного механизма в полете наблюдаются различные варианты изменений спектральных и корреляционных показателей. Эти данные могут быть использованы для оценки и прогнозирования функционального состояния организма космонавтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баевский Р.М. Временная организация функций и адаптационные возможности организма. Теоретические и прикладные аспекты временной организации биосистем. М., Наука, 1976. С. 88-95.
2. Парин В.В., Баевский Р.М. Введение в медицинскую кибернетику. М., Медицина, 1966, 245с.
3. Сорокин А.А. Ультрадианные составляющие суточного ритма. Фрунзе, Илим, 84 с., 1981.
4. Baevsky R.M., Moser M., Funtova I.I., Nikulina G.A. et al. Autonomic regulation of circulation and cardiac contractility during a 14-month space flight, *Acta astronautica*, 1998, vol. 42, p. 159-173.
5. Grigoriev A.I., Egorov A.D. The effects of prolonged Spaceflight on human body. *Advanced in space biology and medicine*. 1991, 1, p. 1-35.
6. Funtova I.I., Baevsky R.M., Cuche J.L. 24-hour monitoring of the blood pressure and heart rate at a initial stage of space flight (preliminary report). *Japanese J. Aerospace and Environment. Med.*, 1997, v. 34, No. 4, pp. 154-155.

СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ

Р.М.Баевский, И.И.Фунтова, Ж.Куш

С целью изучения особенностей суточной динамики артериального давления (СМАД) и частоты пульса (ЧП) на разных этапах космического полета; выявления связи между суточными изменениями АД и ЧП, исследования активности различных звеньев вегетативной регуляции в процессе адаптации к условиям космического полета, выяснения индивидуальных особенностей сердечно-сосудистого гомеостаза и процессов адаптации при длительном действии невесомости проведен ряд исследований во время экспедиций на орбитальную станцию «Мир»

Исследования проведены на шести космонавтах, из которых пятеро находились в невесомости не менее шести месяцев. У каждого космонавта измерения проводились на Земле (за 60 и 30 суток до старта), от 3 до 7 раз в ходе космических полетов и в 1–8 сутки после возвращения. В ходе СМАД измерения проводились каждые 15 минут посредством плечевой манжеты аускультативным методом (по тонам Короткова), одновременно с измерением АД прибор регистрировал среднее за минуту значение ЧП. Полученные в полете данные доставлялись на Землю на магнитных носителях для последующей обработки.

Аналізу подвергались динамические ряды значений систолического, диастолического, пульсового, среднего АД и ЧП. Анализ данных проводился с помощью стандартного пакета прикладных программ «Statistica», для каждого измеряемого показателя (по 96 значений за сутки) вычислялись M, SD, m, определялись коэффициенты взаимной

корреляции для суточных рядов показателей ЧП, систолического (САД) и диастолического (ДАД) АД. По ним вычислялась суммарная корреляционная связь, определяемая по сумме 3-х коэффициентов корреляции. С помощью программ спектрального анализа строились графики спектров суточного ряда показателей ЧП и САД, а также их кросс-спектральная функция.

Среднесуточная ЧП в начальном периоде полета у всех космонавтов снижалась, к концу полета у одного из них она возрастала выше исходного уровня, после полета этот показатель у всех был выше предполетных значений. САД по сравнению с предполетным уровнем в начальном периоде полета в большинстве случаев снижалось, а к концу полета увеличивалось. После полета этот показатель у всех космонавтов также был выше предполетных значений. ДАД в начале полета изменялось так же, как и систолическое, однако в конце полета не увеличивалось. После полета оно только в отдельных случаях немного превышало предполетные значения. Пульсовое артериальное давление у большинства космонавтов к концу полета было выше предполетного уровня. Также в большинстве случаев этот показатель был выше исходных значений в послеполетном периоде.

Анализ результатов СМАД и ЧП показал, что при длительном действии невесомости не наблюдается нарушений сердечно-сосудистого гомеостаза, но для его сохранения и поддержания необходима постоянная работа регуляторных механизмов различного уровня, как автономных, так и центральных. Необходимым условием адаптации организма к новым для него условиям невесомости является активация все более высоких уровней системы управления.

24-HOUR DYNAMICS OF HUMAN BLOOD PRESSURE UNDER CONDITIONS OF WEIGHTLESSNESS

R.M.Baevskii, I.I.Funtova, J.Couche

To study the peculiarities of 24-hour variabilities of blood pressure and heart rate at different stages of space flight, to reveal the correlation between 24-hour changes in blood pressure and heart rate, to study activities of different links of the autonomic nervous system in adaptation to the space flight conditions, to reveal individual peculiarities of cardiovascular homeostasis and adaptive processes under conditions of long-term weightlessness, a number of investigations was carried out during expeditions to the space station "Mir".

The investigations were performed on six cosmonauts, five of them being in the state of weightlessness at least six months. In each cosmonaut, the measurements were made on the Earth (60 and 30 days prior to the flight), 3-7 times during the space flights, and at the 1st-8th days after return to the Earth. During 24-hour blood pressure monitoring, the measurements were performed every 15 minutes with the aid of arm cuff by auscultative technique (using Korotkoff's tones); simultaneously with blood pressure, the mean heart rate for minute was recorded. The data obtained during the space flight were transported to the Earth on flash cards for further processing.

Analyzed were dynamic sequences of values of the systolic, diastolic, pulse, and mean blood pressures, as well as the heart rate. The data processing was performed with the aid of the standart software program "Statistica", for every measured parameter (96 values per day), calculated were M, SD, and m; the correlation coefficients were calculated for 24-hour sequences of the heart rate, systolic and diastolic blood pressure. Using these coefficients, the summarized correlation was calculated, defined as a sum of three correlation coefficients. With the aid of the spectral analysis programs, the graphics of the 24-hour-sequence heart rate and blood pressure patterns as well as their cross-spectral function were evaluated.

The mean 24-hour heart rate at the initial period of space flight decreased in all cosmonauts, by the end of the flight, in one of them it increased higher than the initial level (before the flight); after the flight, this index was higher than the before-flight values in all cosmonauts. The systolic blood pressure, as compared with its before-flight level, decreased in most cosmonauts at the initial period of the flight and increased by the end of the flight. After the flight, this index in all cosmonauts was also higher than that before the flight. The diastolic blood pressure at the beginning of the flight changed like the systolic one, but it was not raised by the end of the flight. After the flight, only in individual cosmonauts, it was higher than that before the flight. The pulse blood pressure in most cosmonauts by the end of the flight was higher than before the flight. This index, in a majority of cases, was also higher of the initial values in the after-flight period than before flight.

Analysis of the data of 24-hour monitoring of blood pressure and heart rate showed that in the case of exposure to long-term weightlessness no alterations in cardiovascular homeostasis were revealed, but, to preserve and maintain it, the uninterrupted functioning of different-level regulatory mechanisms, both autmonic and central ones, is required. Procondition for the organism to be adapted to new conditions of weightlessness is the activation of higher and higher levels of the controlling system.