

<https://doi.org/10.47183/mes.2026-526>

УДК 613.79



ВЕГЕТАТИВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПОСЛЕ ПРОБУЖДЕНИЯ И ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ВО ВРЕМЯ НОЧНОГО СНА В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ: ОПИСАТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Л.С. Стулова[✉], Г.В. Ковров, А.Г. Черникова

Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва, Россия

Введение. Ночной сон — важный фактор сохранения здоровья и высокой работоспособности. В условиях стресса, например при длительной изоляции, его качество и длительность приобретают особое значение: проблемы со сном способны усиливать стрессовое состояние и ухудшать когнитивные способности. В таких условиях продолжительность сна становится решающим фактором, влияющим на самочувствие и продуктивность человека-оператора в последующий день. Однако ее роль в формировании процессов утренней активации изучена недостаточно.

Цель. Выявление особенностей двигательной активности во время ночного сна и вегетативной регуляции после утреннего пробуждения у лиц с различной продолжительностью сна в условиях длительного изоляционного эксперимента.

Материалы и методы. Исследование проводилось в рамках международного изоляционного эксперимента «SIRIUS-23/24» с участием 6 здоровых добровольцев (2 мужчин, 4 женщины, возраст 25–37 лет). По продолжительности сна участники были разделены на две группы: с коротким (< 7 ч; $n = 4$, 2 мужчин, 2 женщины, возраст 27–37 лет) и более длительным сном (> 7 ч; $n = 2$, 2 женщины, возраст 25 и 34 года). Ежемесячно осуществляли мониторинг двигательной активности во время сна методом актиграфии, регистрацию ЭКГ и анкетирование о характеристиках сна сразу после пробуждения. Анализировали показатели вариабельности сердечного ритма (SDNN, TP, VLF, SI, LF/HF), вегетативный индекс Кердо, а также продолжительность, эффективность сна и двигательную активность во время сна. Для оценки достоверности различий выделенных групп применялся непараметрический критерий Манна — Уитни.

Результаты. У участников группы с непродолжительным сном эффективность сна была ниже, а двигательная активность в ночные часы — выше. У участников этой же группы после пробуждения выявлено относительное снижение симпатических влияний: более низкие значения частоты сердечных сокращений (61,5 уд/мин, $p = 0,049$), индекса Кердо (-9,4 усл. ед., $p = 0,015$) и SI (48 усл. ед., $p = 0,04$); и усиление парасимпатической активности: более высокие значения SDNN (59,3 мс, $p = 0,005$) и TP (1994 мс², $p = 0,006$), что свидетельствует о нарушении утренней активации. В группе с более длительным сном, несмотря на лучшие показатели сна, зафиксированы более низкие значения мощности VLF после пробуждения по сравнению с группой с коротким сном ($p \leq 0,05$).

Выводы. В условиях длительной изоляции у некоторых членов экипажа отмечался короткий сон (< 7 ч), связанный с повышенной двигательной активностью во время ночного сна, снижением эффективности сна и ослаблением симпатической регуляции сердечного ритма после пробуждения. Полученные данные подчеркивают необходимость индивидуального подхода к оптимизации режима сна для поддержания работоспособности и здоровья в экстремальных условиях.

Ключевые слова: изоляция; сон; качество сна; продолжительность сна; вариабельность сердечного ритма; двигательная активность; изоляционный эксперимент SIRIUS-23/24; циркадианный ритм

Для цитирования: Стулова Л.С., Ковров Г.В., Черникова А.Г. Вегетативная регуляция сердечно-сосудистой системы после пробуждения и двигательная активность во время ночного сна в условиях длительной изоляции: описательное исследование. *Экстремальная биомедицина*. 2026. <https://doi.org/10.47183/mes.2026-526>

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы РАН FMFR-2024–0042.

Соответствие принципам этики. Исследование проводилось в соответствии с этическими принципами медицинских исследований с участием человека, изложенными в Хельсинкской декларации. Программа эксперимента и проведенные исследования были одобрены Комиссией по биоэтике ГНЦ РФ — ИМБП РАН (протокол № 643 от 07.07.2023). Добровольцы подписали информированное согласие на участие в исследованиях.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование инструментов ИИ. Авторы заявляют, что при подготовке рукописи не использовались инструменты искусственного интеллекта.

✉ Стулова Лидия Сергеевна lidastulova@gmail.com

Статья поступила: 25.05.2026 **После доработки:** 07.08.2026 **Принята к публикации:** 17.08.2026 **Online first:** 05.10.2026

AUTONOMIC REGULATION OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM AFTER AWAKENING AND MOTOR ACTIVITY DURING NIGHT SLEEP UNDER CONDITIONS OF PROLONGED ISOLATION: A DESCRIPTIVE STUDY

Lidiia S. Stulova[✉], Gennady V. Kovrov, Anna G. Chernikova

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Introduction. Adequate night sleep is crucial for maintaining health and optimal performance. Under chronic stressors, such as prolonged isolation, sleep quality and duration become critical determinants of resilience: sleep disturbances can exacerbate psychological distress and impair cognitive functioning. In such conditions, sleep duration becomes a crucial factor affecting the well-being and productivity of a human operator on the following day. However, its role in shaping the processes of morning activation has been insufficiently studied.

Objective. To identify the characteristics of motor activity during night sleep and autonomic regulation after morning awakening in individuals with different sleep durations under conditions of a prolonged isolation experiment.

Materials and methods. The study was conducted within the framework of the international isolation experiment "SIRIUS-23/24" and involved six healthy volunteers (two men, four women; age range: 25–37 years). Based on sleep duration, participants were divided into two groups: a short-sleep group (< 7 h; $n = 4$; two men, two women; aged 27–37) and a longer-sleep group (> 7 h; $n = 2$; both women; aged 25 and 34). Monthly monitoring of motor activity during sleep was carried out using actigraphy, along with ECG recording and sleep characteristics questionnaires completed immediately after awakening. The following parameters were analyzed: heart rate variability indicators (SDNN, TP, VLF, SI, LF/HF), the Kerdo vegetative index, as well as sleep duration, sleep efficiency, and motor activity during sleep. To assess the significance of differences between the identified groups, the non-parametric Mann–Whitney U test was applied.

Results. Participants in the short-sleep group demonstrated lower sleep efficiency and higher motor activity during nighttime hours. In the same group, a relative reduction in sympathetic influences was observed after awakening, evidenced by lower heart rate values (61.5 bpm, $p = 0.049$), Kerdo vegetative index (-9.4 arbitrary units, $p = 0.015$), and SI (48 arbitrary units, $p = 0.04$). At the same time, parasympathetic activity was enhanced, as shown by higher SDNN (59.3 ms, $p = 0.005$) and TP (1994 ms², $p = 0.006$), indicating impaired morning activation. In the long-sleep group, despite better sleep parameters, lower VLF power values were recorded after awakening compared to the short-sleep group ($p \leq 0.05$).

Conclusions. Under prolonged isolation conditions, some crew members exhibited short sleep duration (< 7 h), which was associated with increased motor activity during nighttime sleep, reduced sleep efficiency, and attenuated sympathetic regulation of heart rate after awakening. These findings highlight the need for an individualized approach to sleep schedule optimization to maintain performance and health in extreme environments.

Keywords: isolation; sleep; sleep quality; sleep duration; heart rate variability; motor activity; SIRIUS-23/24 isolation experiment; circadian rhythm

For citation: Stulova L.S., Kovrov G.V., Chernikova A.G. Autonomic regulation of the cardiovascular system after awakening and motor activity during night sleep under conditions of prolonged isolation: A descriptive study. *Extreme Medicine*. 2026. <https://doi.org/10.47183/mes.2026-526>

Funding. The study was carried out within the framework of the RAS project FMFR-2024–0042.

Compliance with ethical principles. The study was conducted in accordance with the ethical principles for medical research involving human subjects, as set forth in the Declaration of Helsinki. The experimental protocol and the conducted research were approved by the Bioethics Commission of the Institute of Biomedical Problems of the RAS (Minutes No. 643 dated 7 July 2023). All volunteers provided written informed consent to participate in the study.

Potential conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Use of AI tools. The authors declare no AI tools were used in the preparation of this article.

✉ Lidiia S. Stulova lidastulova@gmail.com

Received: 25 May 2026 **Revised:** 7 Aug. 2026 **Accepted:** 17 Aug. 2026 **Online first:** 5 Oct. 2026

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что нормальный по продолжительности и качеству ночной сон играет важную роль в жизни человека, способствуя восстановлению и сохранению здоровья во всех его аспектах: физическом, когнитивном и эмоциональном. Было показано, что и укороченный, и чрезмерно продолжительный сон могут негативно сказываться на способности концентрироваться и запоминать информацию, провоцируя повышенную раздражительность и снижение мотивации [1]. Следовательно, контроль и поддержание правильных ритмов сна становятся важнейшими мерами обеспечения безопасности и эффективности труда и повышения качества жизни.

Особое значение оценка циркадной ритмики приобретает в экстремальных условиях, где нарушенный

режим сна значительно увеличивает риск развития стресса и переутомления, нарушений адаптации и здоровья, в том числе популяционного. В таких ситуациях снижение качества сна может привести к ухудшению когнитивных функций, снижению работоспособности и повышению вероятности ошибок у операторов и специалистов в критически важных сферах деятельности. В экстремальных условиях, таких как космические полеты, изоляционные эксперименты, имитирующие условия космического полета, длительная изоляция в экспедициях, было установлено снижение продолжительности и качества сна, а также нарушение циркадных ритмов по сравнению с контрольными исследованиями в обычных условиях [2–7]. Но практически неизученным остается вопрос об индивидуальной продолжительности

сна и ее возможной связи с состоянием после пробуждения.

«Золотым стандартом» исследований качества ночного сна является полисомнография, однако из-за сложности и высокой стоимости ее проведения возникает необходимость использовать более простые подходы. В последние годы все чаще для оценки качества сна применяют методы анализа двигательной активности и вариабельности сердечного ритма (ВСР) [8].

Актиграфия — широко применяемый неинвазивный метод объективной оценки продолжительности и качества ночного сна [8]. Двигательная активность во время сна часто ассоциируется с сегментацией и фрагментацией сна, что подтверждает ее значимость как маркера нарушений сна [9].

Анализ ВСР в период ночного сна преимущественно применяется при изучении циркадных ритмов, так как такой неинвазивный подход дает возможность оценить активность вегетативной нервной системы в циркадном режиме. У спортсменов и лиц, занятых на опасных производствах, мониторинг ночной ВСР является инструментом контроля состояния здоровья и профилактики перетренированности [10]. Наибольшую диагностическую ценность данный метод приобретает сразу после пробуждения, поскольку утренние показатели ВСР коррелируют с готовностью организма к дневным физическим нагрузкам. Исследования подтверждают, что максимальная вариабельность сердечного ритма наблюдается в утренние часы, тогда как во второй половине дня она снижается [11]. Высокая вариабельность, как правило, свидетельствует о возможности организма быстро и гибко реагировать на внешние и внутренние воздействия, а ее снижение представляет собой независимый фактор риска как для здоровья, так и для работоспособности [12]. Соответственно, высокая ВСР способствует более эффективной адаптации к предстоящей умственной и физической работе, повышая продуктивность и устойчивость к развитию утомления.

На ВСР могут влиять продолжительность и качество ночного сна. Исследования показывают, что полноценный и качественный ночной сон способствует увеличению ВСР, что свидетельствует о хорошем балансе между симпатической и парасимпатической нервной деятельностью [13]. Более короткая продолжительность сна обычно связана с более низкой ВСР, что указывает на потенциальную связь между недостаточным сном и сниженной функцией автономной нервной системы [14]. И наоборот, достаточно продолжительный сон может быть связан с более высокой ВСР [15]. Однако авторы некоторых работ утверждают, что как чрезмерно короткий, так и чрезмерно продолжительный сон могут иметь негативное влияние на деятельность вегетативной нервной системы [16].

Важно отметить, что совместное использование показателей ВСР и двигательной активности для определения стадий сна значительно повышает точность классификации и ее чувствительность [17]. Также было показано, что исследование параметров частоты сердечных сокращений, частоты дыхания и движений, полученных с помощью баллистокardiографии, превосходит актиграфию по точности определения состояния сна [18]. Хотя комбинированный анализ двигательной

активности и вариабельности сердечного ритма значительно расширяет возможности оценки качества ночного сна [19], подобных работ в настоящее время опубликовано крайне мало.

Мы предполагаем, что уменьшение продолжительности ночного сна является фактором, изменяющим его качественные характеристики, включая изменение двигательной активности, что может косвенно свидетельствовать о снижении глубины сна. Указанные изменения могут не ограничиваться ночным периодом и распространяться на раннее утро, влияя на вегетативный баланс и уровень активации после пробуждения.

Цель исследования — выявление особенностей двигательной активности во время ночного сна и вегетативной регуляции после утреннего пробуждения у лиц с различной продолжительностью сна в условиях длительного изоляционного эксперимента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперимент проводился в рамках международного проекта «SIRIUS-23/24» с годовой изоляцией, в котором участвовали 6 добровольцев-испытателей, из них 2 мужчины и 4 женщины, возраст 25–37 лет. Все участники проходили углубленное медицинское обследование и были признаны здоровыми и допущены к исследованиям.

Один раз в конце каждого месяца изоляции осуществляли регистрацию двигательной активности бесконтактным методом в течение ночи. Устройство «Кардиосон» (ООО «Медицинские компьютерные системы», Россия) в виде пластины с акселерометрическим датчиком располагалось под матрасом участников в области грудной клетки. По исходному акселерометрическому сигналу (частота дискретизации — 500 Гц) при превышении рассчитанного по адаптивному алгоритму порогового значения выделяли участки двигательной активности и рассчитывали количество и длительность движений не короче 1 с за каждые 5 мин с помощью оригинального программного обеспечения, разработанного в Институте медико-биологических проблем РАН (ИМБП РАН) [20]. Сразу после пробуждения участников проводили мониторинг состояния сердечно-сосудистой системы и ее вегетативной регуляции (ввод данных об артериальном давлении (АД) и частоте сердечных сокращений (ЧСС) после пробуждения (самостоятельное измерение), регистрация ЭКГ в течение 5 мин в утреннее время с помощью беспроводного кардиорегистратора MH-01 (BORSAM Biomedical Instruments, Китай)), заполнение анкеты об особенностях цикла «сон-бодрствование» (несколько вопросов об особенностях предшествующего сна и дневной сонливости) на аппаратно-программном комплексе «Стресс-контроль», разработанном в ИМБП РАН.

В исследовании анализировали данные мониторинга состояния сердечно-сосудистой системы и ее вегетативной регуляции, а также данные анкетирования, полученные в утреннее время после ночей, в течение которых измеряли двигательную активность. Всего у 6 человек за 12 мес. получено 60 записей. Некоторые записи двигательной активности были отбракованы по техническим причинам.

По результатам измерения АД и ЧСС рассчитывали вегетативный индекс Кердо (ВИК) по формуле $VIK = (1 - AD/ЧСС) \times 100$; при регистрации ЭКГ анализировали длительности последовательного ряда RR-интервалов и оценивали показатели BCP согласно международным и российским стандартам [21]. Анализировали показатели RMSSD (среднеквадратичное значение разницы между длительностями соседних R-R интервалов), HF (спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне высоких частот (0,15–0,4 Гц)), LF (спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне низких частот (0,04–0,15 Гц)), VLF (спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне очень низких частот (0,003–0,04 Гц)), LF/HF (соотношение низкочастотного и высокочастотного компонентов спектра), SDNN (стандартное отклонение всех интервалов между последовательными сердечными сокращениями), SI (уровень напряжения адаптационно-защитных систем) и TP (сумма мощностей волн в диапазонах HF, LF и VLF). В анкете указывали время отбоя, длительность засыпания и ночных пробуждений, время утреннего пробуждения. Продолжительность ночного сна рассчитывали как разность времени нахождения в постели и суммарного времени засыпания и ночных пробуждений; индекс эффективности сна (ИЭС) вычисляли как отношение времени сна ко времени нахождения в постели [22].

Статистическую обработку осуществляли в программе Statistica 10.0 (StatSoft, США). Численные значения представлены в виде медиан и перцентилей M_e (P25; P75). Исследование было выполнено с применением непараметрического теста Манна — Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам анкетирования члены экипажа экспертным путем были разделены по продолжительности ночного сна на две группы: 4 человека, которые

в среднем спали менее 7 ч ($6,5 \pm 0,2$ ч), и 2 человека, которые в среднем спали более 7 ч ($7,5 \pm 0,3$ ч).

Были проанализированы данные ежемесячного анкетного опроса о характеристиках ночного сна и режима дня в условиях 12-месячной изоляции для каждого члена экипажа (табл. 1). Такие показатели, как продолжительность сна, длительности засыпания и ночных пробуждений, в среднем не выходят за границы нормальных значений, которые составляют 6–10 ч для продолжительности сна, до 30 мин для длительности засыпания и до 15 мин для длительности ночных пробуждений [23].

Продолжительность ночного сна в первой группе была снижена в основном за счет более позднего времени отбоя и длительного времени засыпания. Также в группе с более коротким ночным сном был достоверно ниже индекс эффективности сна (ИЭС).

Анализ двигательной активности в изучаемых группах (табл. 2) позволил выявить ее значимое уменьшение в период ночного сна у членов экипажа с большей продолжительностью ночного сна, что косвенно также свидетельствует о лучшем качестве ночного сна в этой группе. Анализ показателей, отражающих состояние сердечно-сосудистого гомеостаза и вегетативной регуляции в выделенных по продолжительности ночного сна группах, показал, что эти группы достоверно отличаются по показателям: VLF, SDNN, Kerdo index, SI, TP (табл. 2).

Достоверные различия ЧСС и индекса Кердо указывают на относительное преобладание симпатической нервной системы в регуляции сердечно-сосудистого гомеостаза в утреннее время у членов экипажа с большей продолжительностью сна, у которых наблюдалось более высокое среднее значение ЧСС. Показатель индекса Кердо в группе тех, кто спал менее 7 ч, был значительно и достоверно ниже по сравнению с группой со сном более 7 ч (на 17,65 усл. ед.). Учитывая функциональные свойства индекса Кердо, косвенно характеризующего вагосимпатический баланс в организме,

Таблица 1. Характеристики сна членов экипажа эксперимента «SIRIUS-23/24» по анкете «сон-бодрствование»

Порядковый номер члена экипажа	Время отбоя (чч:мм)	Время подъема (чч:мм)	Длительность засыпания, мин	Длительность пробуждения, мин	Длительность пребывания в постели, ч	Продолжительность сна, ч	Индекс эффективности сна, %
Группа 1, длительность сна меньше 7 ч							
1	24:00 ± 00:12	6:10 ± 0:00	31,30 ± 0,00	2,30 ± 0,48	7,10 ± 0,09	6,36 ± 0,12	89,6 ± 0,02
2	23:36 ± 00:15	6:53 ± 00:07	19,30 ± 7,48	2,00 ± 0,48	7,18 ± 0,14	6,56 ± 0,13	91,4 ± 0,00
3	23:45 ± 00:13	7:00 ± 0:07	25,30 ± 7,11	3,30 ± 0,00	7,15 ± 0,13	6,46 ± 0,13	90,3 ± 0,00
4	24:00 ± 00:07	7:10 ± 0:07	15,00 ± 7,48	1,30 ± 0,30	7,08 ± 0,08	6,51 ± 0,07	91,9 ± 0,00
Группа 2, длительность сна больше 7 ч							
5	23:36 ± 00:07	7:00 ± 0:07	15,00 ± 7,48	0,00 ± 0,00	7,25 ± 0,09	7,10 ± 0,13	97,9 ± 0,03
6	23:19 ± 00:09	7:26 ± 0:00	16,30 ± 0,00	4,30 ± 0,00	8,07 ± 0,12	7,46 ± 0,12	92,4 ± 0,00

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание. Количество измерений (n) для каждого члена экипажа — 10.

Таблица 2. Двигательная активность в течение ночи, параметры вегетативной регуляции сердечно-сосудистого гомеостаза и сердечного ритма у членов экипажа «SIRIUS-23/24»

Параметры	Группа 1 (сон < 7 ч) <i>n</i> = 40	Группа 2 (сон > 7 ч) <i>n</i> = 20	Достоверность отличий групп по критерию Манна — Уитни, <i>p</i>
Количество участков двигательной активности за каждые 5 мин	1,55 (1,15; 2,14)	0,89 (0,71; 1,36)	0,001
ЧСС, уд/мин	61,50 (59; 66,25)	68 (55; 78,50)	0,049
Вегетативный индекс Кердо, усл. ед.	-9,40 (-34,50; -1,87)	12,10 (-27,25; 21,50)	0,015
RMSSD, мс	39,70 (33,25; 47,25)	40,20 (29,20; 45,30)	1,000
HF, мс ²	529 (206,50; 766,50)	382 (240; 699)	0,878
LF, мс ²	776 (472,50; 1176,30)	562 (411; 836)	0,140
VLF, мс ²	547 (431; 1035)	483 (326; 526)	0,037
LF/HF, усл. ед.	1,64 (0,77; 7,75)	1,68 (0,75; 2,86)	0,581
SDNN, мс	59,3 (50,40; 72,35)	48 (44; 30; 56,80)	0,005
SI, усл. ед.	48 (31; 67,50)	72 (59; 94)	0,004
TP, мс ²	1994 (1657,50; 2749,50)	1599 (1202; 1925)	0,006

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание. RMSSD — среднеквадратичное значение разницы между длительностью соседних R-R интервалов; HF — спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне 0,15–0,4 Гц; LF — спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне 0,04–0,15 Гц; VLF — спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне 0,003–0,04 Гц; LF/HF — соотношение низкочастотного и высокочастотного компонентов спектра; SDNN — стандартное отклонение всех интервалов между последовательными сердечными сокращениями; SI — уровень напряжения адаптационно-защитных систем; TP — сумма мощностей волн в диапазонах HF, LF, VLF; *n* — количество измерений; * *p* < 0,05 — значимость различий между группами 1 и 2 по критерию Манна — Уитни; значения представлены в виде медиан с перцентилями *M*_е (P25; P75); курсивом выделены значимые различия между группами 1 и 2 по критерию Манна — Уитни (*p* < 0,05).

эти изменения могут свидетельствовать об экономичности гемодинамических процессов, усилении процессов восстановления и накопления энергетического потенциала организма в утреннее время у тех членов экипажа, кто спал менее 7 ч.

Также в таблице 2 представлены значения некоторых показателей variability сердечного ритма, достоверно различающихся в выделенных группах, которые характеризуют общий эффект регуляторной активности и адаптационные резервы организма (SDNN, TP), а также активность симпатического отдела вегетативной нервной системы (SI) и степень «вмешательства» центральной нервной системы в вегетативную (автономную) регуляцию, состояние гуморальных и метаболических механизмов регуляции (VLF). У испытуемых, спавших менее 7 ч, в утренние часы наблюдается усиление парасимпатических влияний и снижение симпатических влияний на сердечный ритм. Усиление активности парасимпатической нервной системы подтверждается изменением значений таких показателей, как SDNN и TP. Показатель SDNN, отражающий стандартное отклонение полного ряда кардиоинтервалов и суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения, составляет в среднем 62,31 мс в группе с продолжительностью сна менее 7 ч и 50,97 мс в группе с большей продолжительностью сна. Более низкая активность симпатической нервной системы

в утренние часы, выявленная у участников с меньшей продолжительностью сна по данным измерения АД (индекс Кердо), подтверждается при сравнении показателя SI в выделенных группах. Среднее значение SI после пробуждения в группе со сном менее 7 ч составило 53,35 усл. ед., что находится на границе физиологической нормы [21] и может свидетельствовать о снижении активности стресс-реализующих систем в утренний период.

Показатель VLF, отражающий, в том числе, активность и состояние энергометаболических процессов в организме, в среднем был в два раза ниже у участников группы 2 по сравнению с испытуемыми группы 1, спавшими менее 7 ч, что может указывать на снижение уровня обменно-энергетических процессов и недостаточность даже более длительного сна в этой группе.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты эксперимента в рамках проекта «SIRIUS-23/24» показали, что в условиях 12-месячной изоляции присутствует гетерогенность индивидуальной потребности в сне: продолжительность сна варьировалась у разных участников. Были выделены две группы: у 4 из 6 членов экипажа продолжительность ночного сна составляла около 6 ч 48 мин, в то время как у 2 других она была в среднем на 30 мин

больше. Кроме того, в группе с менее продолжительным сном наблюдалось увеличение времени засыпания, что потенциально может снижать восстановительную функцию сна.

Было показано, что продолжительность сна достоверно разделяет выделенные группы как по активности симпатической и парасимпатической нервных систем в утреннее время после пробуждения, так и по количеству движений во время сна.

Известно, что суточная ритмичность парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы связана с центральными циркадными ритмами. При переходе от сна к бодрствованию происходит активация симпатической нервной системы, что соответствует пиковым уровням кортизола в суточном цикле [24]. Выявление ослабления симпатических влияний на ритм сердца и в регуляции гемодинамики (индекс Кердо) в утренние часы в группе со сном меньше 7 ч может свидетельствовать о нарушении циркадного ритма и затруднении утренней активации стресс-реализующих систем. Наблюдаемые в этой группе изменения ночного сна (длительное засыпание, более высокая двигательная активность во время сна, снижение индекса эффективности сна) могут быть основным механизмом возникновения выявленных сдвигов в цикле сон-бодрствование.

В то же время в группе 2, несмотря на более длительный ночной сон и более высокую его эффективность, сниженные значения спектральной мощности VLF указывают на ослабление колебаний сердечного ритма в диапазоне очень низких частот, которые связывают, в том числе, с активностью гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, энергетическими ресурсами организма и астенизацией [25]. Это может свидетельствовать о нарушении адаптационных

возможностей и увеличении субъективной потребности во сне. В этом случае более длительный сон может быть компенсаторной реакцией на экстремальные для организма условия длительной изоляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях 12-месячной изоляции в ходе эксперимента «SIRIUS-23/24» у членов экипажа наблюдались межиндивидуальные различия в продолжительности сна. Более короткий сон (меньше 7 ч) у части участников ассоциирован с повышением двигательной активности во сне, снижением эффективности сна и относительным снижением симпатических регуляторных влияний на ритм сердца и сердечно-сосудистый гомеостаз после пробуждения. Это предполагает нарушение циркадной ритмики, потенциальное ослабление адаптационных возможностей организма в цикле сон-бодрствование и затруднение целенаправленной активности в утреннее время. Результаты исследования выявили признаки нарушения циркадной ритмики и особенности компенсаторных реакций у участников групп 1 и 2 в экстремальных условиях изоляционного эксперимента. Предполагается, что большее сокращение ночного сна до 6 ч и менее (частичная депривация) может вызывать более выраженные изменения вегетативного баланса после пробуждения, что, в свою очередь, может способствовать снижению работоспособности и развитию инерции сна. Полученные данные подчеркивают важность индивидуального подхода к организации режима сна и бодрствования в условиях длительной изоляции и необходимость дальнейших исследований для разработки эффективных мер по поддержанию здоровья и работоспособности экипажа.

Литература / References

- Hyndych A, El-Abassi R, Mader ECJ. The role of sleep and the effects of sleep loss on cognitive, affective, and behavioral processes. *Cureus*. 2025;17(5):e84232. <https://doi.org/10.7759/cureus.84232>
- Уйба ВВ, Ушаков ИБ, Сапецкий АО. Медико-биологические риски, связанные с выполнением дальних космических полетов. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2017;59(1):43–64.
Uyba VV, Ushakov IB, Sapetsky AO. The medical and biological risks associated with operations in deep space missions. *Extreme Medicine*. 2017;59(1):43–64 (In Russ.). EDN: [YHCZCT](https://doi.org/10.21687/0233-528X-2023-57-3-5-17)
- Степанова СИ, Королёва МВ, Галичий ВА, Карпова ОИ. Взаимосвязь базовых составляющих цикла сон-бодрствование и режим труда и отдыха космонавтов. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2023;57(3):5–17.
Stepanova SI, Koroleva MV, Galichiy VA, Karpova OI. Interdependence of basic components of the sleep-wakefulness cycle and cosmonauts' work-rest schedule. *Aerospace and Environmental Medicine*. 2023;57(3):5–17 (In Russ.). <https://doi.org/10.21687/0233-528X-2023-57-3-5-17>
- Pitlch O, Flynn-Evans EE, Young M, Stickgold R. Changes to human sleep architecture during long-duration spaceflight. *Journal of Sleep Research*. 2025;34(3):e14345. <https://doi.org/10.1111/jsr.14345>
- Бочкарев МВ, Коростовцева ЛС, Коломейчук СН, Петрашова ДА, Шаламова ЕЮ, Рагозин ОН и др. Роль сна и изменений ритма сна-бодрствования в адаптации к условиям Арктики. *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2019;16(2):86–95.
Bochkarev MV, Korostovtseva LS, Kolomeychuk SN, Petrashova DA, Shalamova EY, Ragozin ON, et al. The role of sleep and sleep-wake rhythm changes in the arctic adaptation. *Journal of Ural Medical Academic Science*. 2019;16(2):86–95 (In Russ.). EDN: [ZGOJRV](https://doi.org/10.1073/pnas.1212646110)
- Basner M, Dinges DF, Mollicone D, Ecker A, Jones CW, Hyder E, et al. Mars 520-d mission simulation reveals protracted crew hypokinesia and alterations of sleep duration and timing. *PNAS*. 2013;110(7):2635–40. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212646110>
- Завалко ИМ, Рассказова ЕИ, Гордеев СА, Палатов СЮ, Ковров ГВ. Влияние длительной изоляции и ожидания значимого события на сон человека: результаты проекта «МАРС-520». *Физиология человека*. 2013;39(6):1–6.
Zavalko IM, Rasskazova EI, Gordeev SA, Palatov SY, Kovrov GV. The influence of prolonged isolation and anticipation of a significant event on human sleep: results of the MARS-520 project. *Human Physiology*. 2013;39(6):1–6 (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0131164613060143>

8. Ibrahim A, Ferri R, Cesari M, Frauscher B, Heidbreder A, Bergmann M, et al. Large muscle group movements during sleep in healthy people: normative values and correlation to sleep features. *Sleep*. 2023;46(8):zsad129. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsad129>
9. Bliwise DL. Something old, something new: a brief history of body movement measurement in sleep. *Sleep*. 2023;46(8):zsad146. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsad146>
10. Stephenson MD, Thompson AG, Merrigan JJ, Stone JD, Hagen JA. Applying heart rate variability to monitor health and performance in tactical personnel: A narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(15):8143. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158143>
11. Sammito S, Thielmann B, Böckelmann I. Update: Factors influencing heart rate variability—a narrative review. *Frontiers in Physiology*. 2024;15:1430458. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1430458>
12. Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*. 2017;5:258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
13. Olshansky B, Sabbah HN, Hauptman PJ, Colucci WS. Parasympathetic nervous system and heart failure: Pathophysiology and potential implications for therapy. *Circulation*. 2008;118(8):863–71. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.760405>
14. Mezick EJ, Matthews KA, Hall MH, Richard Jennings J, Kamarck TW. Sleep duration and cardiovascular responses to stress in undergraduate men. *Psychophysiology*. 2014;51(1):88–96. <https://doi.org/10.1111/psyp.12144>
15. Gonzales JU, Elavsky S, Cipryan L, Jandačková V, Burda M, Jandačka D. Influence of sleep duration and sex on age-related differences in heart rate variability: Findings from program 4 of the HAIE study. *Sleep Medicine*. 2023;106:69–77. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2023.03.029>
16. Yuda E, Yoshida Y. Influence of posture and sleep duration on heart rate variability in older subjects. *Applied Science*. 2025;15(5):2504. <https://doi.org/10.3390/app15052504>
17. Jaworski DJ, Roshan YM, Tae CG, Park EJ. *Detection of sleep and wake states based on the combined use of actigraphy and ballistocardiography*. 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). Berlin; 2019. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857650>
18. Mack DC, Patrie JT, Felder RA, Suratt PM, Alwan M. *Sleep assessment using a passive ballistocardiography-based system: preliminary validation*. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Minneapolis; 2009. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5333805>
19. Ковров ГВ, Медведева АВ, Аронсон АВ, Берлева ЮВ, Есюнина ИС, Куликова ВС и др. Дневная сонливость и когнитивные расстройства в пожилом возрасте. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2020;120(1):96–102. Kovrov GV, Medvedeva AV, Aronson AV, Berleva YuV, Esiyunina IS, Kulikova VS, et al. Daytime sleepiness and cognitive impairment in the elderly. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2020;120(1):96–102 (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro202012001196>
20. Ковров ГВ, Стулова ЛС, Усс ОИ, Черникова АГ. Двигательная активность во время бодрствования при наличии и отсутствии состояния дневной сонливости в условиях 21-суточной антиортостатической гипокинезии. *Технологии живых систем*. 2025;22(3):53–62. Kovrov GV, Stulova LS, Uss OI, Chernikova AG. Motor activity during wakefulness in the presence and absence of daytime sleepiness under conditions of 21-day antiorthostatic hypokinesia. *Technologies of Living Systems*. 2025;22(3):53–62 (In Russ.).
21. Баевский РМ, Иванов ГГ. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2001;(3):108–27. Baevsky RM, Ivanov GG. Heart rate variability: theoretical aspects and possibilities of clinical application. *Ultrasound and functional diagnostics*. 2001;(3):108–27 (In Russ.). EDN: [VWTHLT](https://www.edn.ru/VWTHLT)
22. Reed DL, Sacco WP. Measuring sleep efficiency: what should the denominator be? *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2016;12(2):263–6. <https://doi.org/10.5664/jcsm.5498>
23. Hirshkowitz M, Whiton K, Albert SM, Alessi C, Bruni O, DonCarlos L, et al. National Sleep Foundation's updated sleep duration recommendations: final report. *Sleep Health*. 2015;1(4):233–43. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2015.10.004>
24. Mavroudis PD, Scheff JD, Calvano SE, Lowry SF, Androulakis IP. Entrainment of peripheral clock genes by cortisol. *Physiological Genomics*. 2012;44(11):607–21. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00001.2012>
25. Попова ЕП, Богова ОТ, Пузин СН, Сычев ДА, Фисенко ВП. Спектральные показатели вариабельности сердечного ритма у пациентов с персистирующей фибрилляцией предсердий на фоне терапии амиодароном: клиническое наблюдение. *Медицинский алфавит*. 2019;2(30):18–22. Popova EP, Bogova OT, Puzin SN, Sychyov DA, Fisenko VP. Influence of amiodarone on spectral analysis of heart rate variability in patients with atrial fibrillation (clinical observation). *Medical Alphabet*. 2019;2(30):18–22 (In Russ.). [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-30\(405\)-18-22](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-30(405)-18-22)

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: Л.С. Стулова — проведение исследований, написание текста статьи; Г.В. Ковров — статистическая обработка результатов, написание текста статьи; А.Г. Черникова — дизайн эксперимента, проведение исследований, редактирование и подготовка итоговой версии статьи.

Об авторах:

Стулова Лидия Сергеевна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5891-3500>

Ковров Геннадий Васильевич, д-р биол. наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3564-6798>

Черникова Анна Григорьевна, канд. биол. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2596-8929>