

УДК 613.79

Реципрокность двигательного паттерна в цикле сон — бодрствование при длительной изоляции

Стулова Л.С. lidastulova@gmail.com

Яхья Ю.Д. josef.imbp@gmail.com

Ковров Г.В. kgv2006@yandex.ru

Черникова А.Г. anna.imbp@mail.ru

ГНЦ РФ — ИМБП РАН, Москва, Россия

Аннотация. Известно, что эффективность операторской деятельности в условиях длительной изоляции, характерной для автономных космических миссий, является критически важным фактором. Влияние двигательных паттернов во сне на последующую двигательную активность в ходе профессиональной деятельности изучено недостаточно. Следовательно, целью работы являлось выявление двигательных паттернов, возникающих во время ночного сна и проявляющиеся на следующий день в процессе выполнения операторской работы в зависимости от продолжительности сна. В условиях изоляции у шести здоровых добровольцев регистрировали двигательную активность во время ночного сна и в процессе выполнения операторской деятельности на следующий день. На основании анкетных данных все наблюдения были разделены на три группы: укороченный сон ($\leq 5,7$ часов, $n = 8$), нормальная продолжительность сна (7,0 часов, $n = 38$) и удлинённый сон ($\geq 7,9$ часов, $n = 13$). Выявлены двигательные паттерны, ассоциированные с продолжительностью сна: при укороченном и удлинённом сне наблюдается снижение количества коротких движений (до 15–30 с) в ночное время. В дневное время зафиксирован реципрокный паттерн: в тех же группах (укороченный и удлинённый сон) количество коротких движений (5–15 с) во время операторской деятельности было достоверно выше, чем в группе с нормальной продолжительностью сна. Данные результаты демонстрируют устойчивую взаимосвязь между продолжительностью сна и характером двигательной активности в цикле «сон – бодрствование». Выявленные паттерны движений открывают перспективы для разработки объективных неинвазивных маркеров функционального состояния операторов на основе анализа двигательной активности.

Ключевые слова: длительная изоляция, операторская деятельность, двигательная активность, акселерометрия, продолжительность сна

Введение. Операторская деятельность в условиях длительной изоляции представляет собой критически важный аспект обеспечения безопасности автономных космических полетов. В контексте дальних космических миссий, где возможности внешней поддержки ограничены, эффективность работы оператора становится ключевым фактором успеха миссии. Современные исследования двигательных паттернов активно используют методы акселерометрии, позволяющие объективно оценивать характеристики двигательной активности. Имеющиеся данные свидетельствуют о существовании корреляции между дневными двигательными паттернами и характеристиками двигательной

активности в ночное время [1, 2]. Традиционно изучение дневной двигательной активности связывают с оценкой влияния физических нагрузок на работоспособность [3]. Особый интерес представляет взаимосвязь между количеством/качеством ночного сна и когнитивными функциями. Показано, что эффективность восстановительных процессов во сне напрямую влияет на когнитивные возможности в период бодрствования. Важным компонентом, определяющим эффективность сна, является двигательная активность во сне, однако ее роль в формировании операторской деятельности изучена недостаточно [4]. Несмотря на очевидную практическую значимость, анализ данных литературы показывает отсутствие доступных исследований, посвященных изучению влияния двигательных паттернов во сне с разной продолжительностью на характеристики двигательной активности в период выполнения операторской деятельности.

Цель исследования — выявить двигательные паттерны, которые возникают во время ночного сна и проявляются на следующий день в процессе выполнения операторской работы в зависимости от продолжительности сна.

Методы и материалы; результаты. В эксперименте приняло участие шесть членов экипажа, из них двое мужчин и четверо в возрасте от 25 до 37 лет на момент начала фоновых исследований. Исследование заключалось в регистрации двигательной активности в течение ночи и двигательной активности во время выполнения операторской деятельности на следующий день, а также отвечали на вопросы анкеты, касающейся особенностей цикла сна – бодрствования.

Регистрация двигательной активности производилась прибором «Кардиосон» (акселерометр), представляющий собой пластину, которая размещалась 1 раз в месяц под матрасом испытуемого, а также 1 раз в месяц на 30 минут на кресло испытуемого в дневное время во время выполнения операторской деятельности. Операторская деятельность заключалась в выполнении компьютеризированного теста по управлению ровером (луноходом) с встроенными когнитивными тестами для оценки работоспособности оператора непосредственно во время выполнения операторской деятельности. Также они заполняли анкету, касающуюся особенностей ночного сна, отмечая время отбоя, длительность засыпания и ночных пробуждений, время утреннего пробуждения). В анализ были включены данные по 47-ми суткам у шести участников. Статистическая обработка осуществлялась в программе Statistica 10.0 (StatSoft, США). Был проведен анализ с использованием непараметрического критерия Манна – Уитни.

В результате анализа анкетных данных была установлена средняя продолжительность сна, составившая 7,02 часа ($\sigma = \pm 0,72$). Минимальная продолжительность сна равнялась 5,1 часа, а максимальная 8,4 часа. На основании величины стандартного отклонения все наблюдения были разделены на три группы данных: группа 1 (укороченный сон): продолжительность сна менее одной сигмы со средним значением в 5,7 часа — 8 наблюдений; группа 2

(обычная продолжительность сна): среднее значение составило 7,0 часов — 38 наблюдений; группа 3 (удлиненный сон): средняя продолжительность сна более чем на одну сигма и средним значением 7,9 часа — 13 наблюдений. Изучение особенностей режима сна в выделанных группах данных определил некоторые различия между группами. Применение критерия Манна – Уитни выявило статистически значимые различия между группами. Анализ показал выраженное смещение времени отхода ко сну на более позднее время в группе 1 по сравнению с группой 2 ($p = 0,003$) и группой 3 ($p = 0,0003$). Менее выраженное, но также статистически значимое смещение, наблюдалось в группе 2 по сравнению с группой 3 ($p = 0,0003$). Что касается времени утреннего подъема, то наиболее ранние показатели были зафиксированы в группе 1 по сравнению с группой 2 ($p = 0,04$) и группой 3 ($p = 0,02$). Статистически значимых различий во времени подъема между группами 2 и 3 выявлено не было. Средние величины представлены в таблице.

Основные анализируемые параметры анкеты (Время отбоя и время подъема)

Время	1 группа	2 группа	3 группа
Отбой	0 часов 30 минут	23 часа 41 минут	23 часа 5 минут
Подъем	6 часов 46 минут	7 часов 6 минут	7 часов 21 минута

При сравнении групп данных между собой был использован Манн – Уитни-тест. Было получено, что двигательная активность во время сна достоверно отличалась.

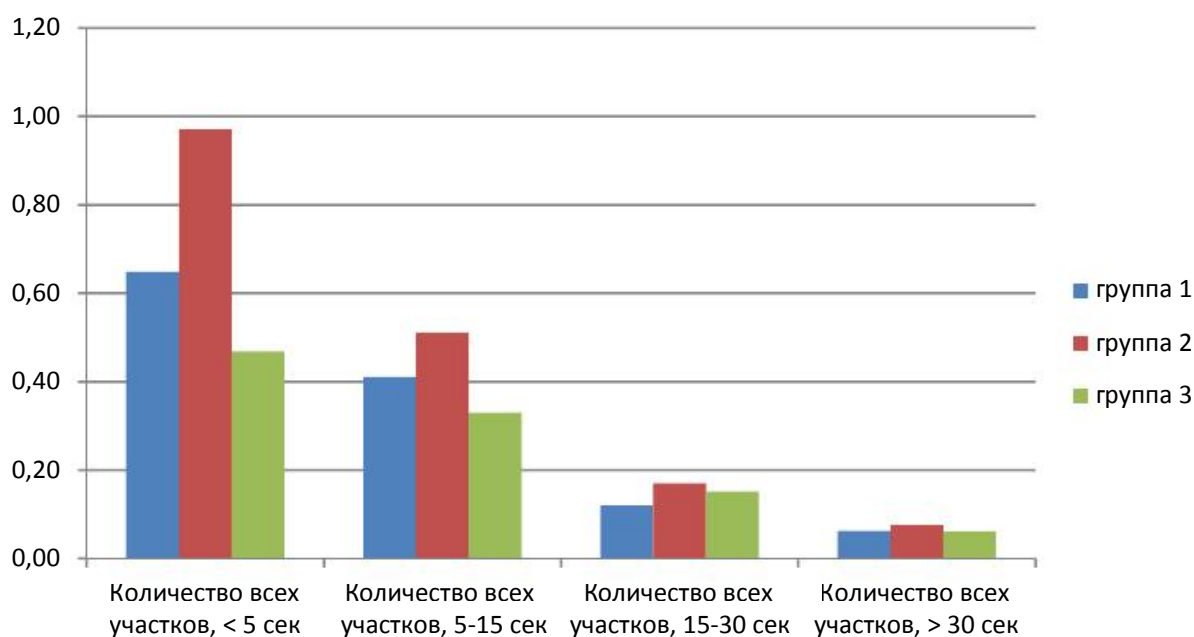


Рис. 1. Двигательная активность во время ночного сна в группах с разной продолжительностью ночного сна

Как видно из представленного графика, достоверное снижение количества движений в диапазоне 0–15 секунд наблюдается только в группе с удлиненным сном. В группе с коротким сном отмечается лишь тенденция к уменьшению количества таких движений по сравнению с группой с нормальной продолжительностью сна ($p = 0,08$). При этом зафиксирована обратная тенденция: в группе с коротким сном наблюдается повышение количества движений длительностью до 5 секунд по сравнению с группой с удлиненным сном ($p = 0,07$). Таким образом, выявлены паттерны двигательной активности, ассоциированные с продолжительностью ночного сна.

На следующем этапе исследования было проведено сравнение выделенных групп по показателям двигательной активности во время операторской деятельности. Анализ выявил, что наименьшее количество движений наблюдается в группе 2 по сравнению с группой 1 и группой 3 ($p = 0,005$ и $p = 0,03$ соответственно) в диапазоне 5–15 секунд. В остальных анализируемых диапазонах достоверных различий в количестве движений не выявлено, однако отмечена тенденция к увеличению движений в диапазоне 15–30 секунд в группе 1 по сравнению с группой 2 ($p = 0,07$).

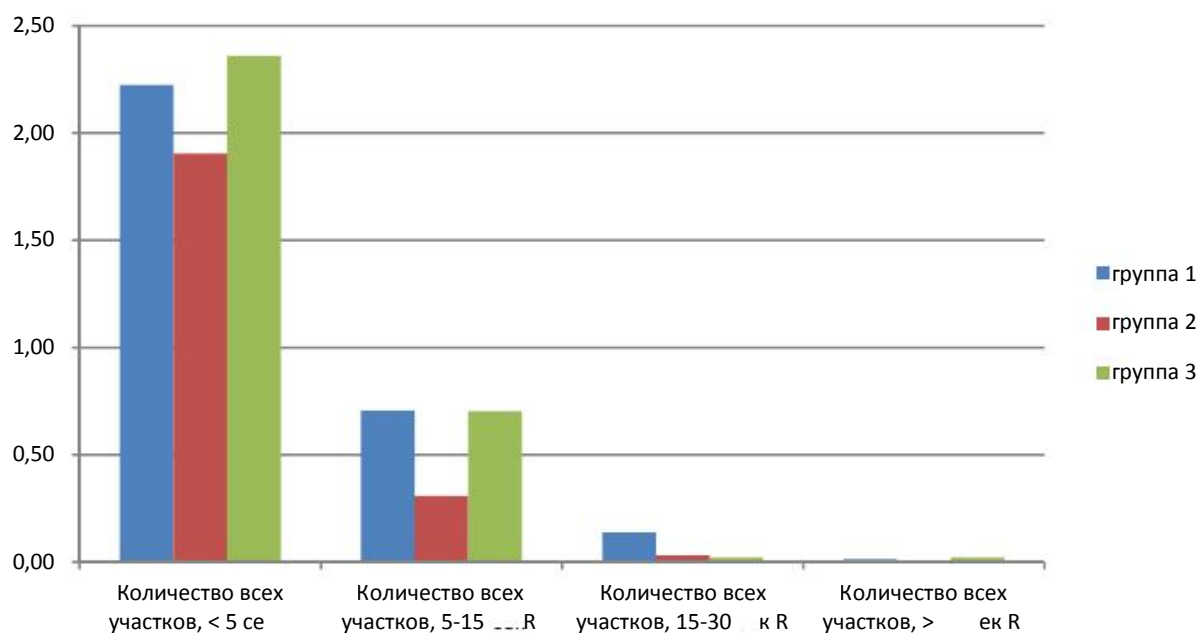


Рис. 2. Двигательная активность во время выполнения операторской деятельности в группах с разной продолжительностью ночного сна

Заключение. Проведенное исследование позволило идентифицировать характерные паттерны двигательной активности, проявляющиеся как в период ночного сна, так и в процессе операторской деятельности, демонстрирующие устойчивую связь с продолжительностью сна. Выявленные паттерны характеризуются следующими особенностями: движения продолжительно-

стью 5–15 секунд составляют их основу; наблюдается обратная зависимость между двигательной активностью в ночное и дневное время, а именно уменьшение количества движений указанной продолжительности во сне коррелирует с их увеличением в период выполнения операторских задач, и наоборот. Дальнейшее изучение взаимосвязи между качеством сна и эффективностью профессиональной деятельности на основе анализа двигательных паттернов открывает перспективы для разработки объективных критериев оценки функционального состояния операторов, а также средств оптимизации их работоспособности в условиях автономных космических миссий.

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

Список источников

- [1] Alnawwar M.A., Alraddadi M.I., Algethmi R.A., Salem G.A., Salem M.A., Alharbi A.A. The effect of physical activity on sleep quality and sleep disorder: a systematic review. *Cureus*, 2023, vol. 15 (8), pp. 2–11. <https://doi.org/10.7759/cureus.43595>
- [2] Arvidsson D., Fridolfsson J., Börjesson M. Measurement of physical activity in clinical practice using accelerometers. *J. Intern. Med.*, 2019, vol. 286 (2), pp. 137–153. <https://doi.org/10.1111/joim.12908>
- [3] Ковров Г.В., Стулова Л.С., Усс О.И., Черникова А.Г. Двигательная активность во время бодрствования при наличии и отсутствии состояния дневной сонливости в условиях 21-суточной антиортостатической гипокинезии. *Технологии живых систем*. 2025, № 22 (3), с. 3–62. <https://doi.org/10.18127/j20700997-202503-06>