

УДК 57.034; 577.3; 591.1

О ВЗАИМОСВЯЗАННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ УЛЬТРАДИАННЫХ РИТМОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА ДВУХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ДРУГ ОТ ДРУГА ГРУПП МЫШЕЙ

Диатромтов М. Е.^{1,2}, Арсеньев Г. Н.³, Шатеева В. С.⁴, Лигун Н. В.³, Дорохов В. Б.³

¹*ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия*

²*ФГБНУ НИИ ревматологии им. В. А. Насоновой, Москва, Россия*

³*ФГБУН Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия*

⁴*ФГБОУ ВО Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия*

E-mail: diatrom@inbox.ru

Проведено исследование динамики температуры тела у двух изолированных друг от друга групп мышей, находящихся в условиях постоянного освещения. Для диапазона периодов 6–20 и 100–260 мин показано, что изменение спектров колебаний температуры тела у мышей исследуемых групп наблюдается преимущественно одновременно. Показано, что в период возмущений геомагнитного поля Земли и отрицательных значений вертикальной компоненты межпланетного магнитного поля наблюдается отсутствие достоверной корреляции между спектрами изменения температуры тела двух исследуемых групп животных. Также у изолированных друг от друга мышей установлена фазовая взаимосвязь ритмов активность/покой. По-видимому, это связано с синхронизирующим действием на ритмику температуры тела и активность мышей, изолированных от световых ориентиров смены дня и ночи, пока не выявлено внешнего фактора среды.

Ключевые слова: ультрадианные ритмы, цикл активность/покой, синхронизаторы, геомагнитное поле, мышцы.

ВВЕДЕНИЕ

При исследовании динамики различных форм активности животных и человека выявляется целый спектр ритмов с периодом от миллисекунд до нескольких суток [1–6]. Считается, что ультрадианные ритмы (период < 23ч) имеют эндогенную природу и определяются периодической активацией нервной системы. В частности, 2–5-частотные ритмы активности/покоя у грызунов связывают с периодическими колебаниями в дофаминергических структурах полосатого тела головного мозга [7, 8].

Некоторые авторы указывают на возможность синхронизации биологических ритмов факторами внешней среды, в том числе и квазиритмическими колебаниями геомагнитного поля (ГМП) [9, 10]. В частности в динамике двигательной активности крыс были выявлены ритмические составляющие характерные для спектра колебаний ГМП [11]. В диапазоне частот 0,5–3 мГц при исследовании на здоровых людях показана синхронизация динамики вариабельности сердечного ритма с изменениями ГМП [12]. Также выявлена связь изменения активности автономной нервной системы с геомагнитными факторами среды [13, 14].

Ранее нами было установлено, что у мелких млекопитающих и птиц, различающихся уровнем обмена веществ, периоды ежеминутных изменений температуры тела одинаковые и, более того, у разных особей эти ритмы совпадают по фазе [15]. Этот факт указывает либо на экзогенный механизм их формирования, либо на высокую степень синхронизации этих эндогенных ритмов фактором/факторами внешней среды.

Было показано, что фаза ритмов температуры тела в диапазоне 100–200 мин у мышей находящихся на разных долготах (Москва и Ульяновск) в условиях постоянного освещения и, следовательно, лишенных световых ориентиров смены цикла день/ночь, приурочены к местному солнечному времени [16]. Этот факт также указывает на существование внешнего фактора среды отличного от режима свет/темнота, который синхронизирует ультрадианные ритмы (УР). В качестве такого синхронизатора цикла активность/покой могут выступать вариации ГМП [17].

Детального анализа сопряженности изменений ритмичности динамики температуры тела у двух изолированных друг от друга групп животных не проводилось, тогда как такие данные были бы полезны для изучения механизмов формирования и синхронизации УР. Учитывая, что ГМП может быть фактором синхронизации УР целесообразно оценить влияние периодов возмущенного ГПМ на выраженность синхронизации ритмов активности между двумя изолированными друг от друга группами лабораторных животных.

Цель – изучить динамику изменения степени синхронизации ритмов температуры тела в 6–20 и 100–260-минутном диапазоне периодов между двумя изолированными друг от друга и находящимися в условиях постоянного освещения группами мышей, а также оценить влияние на этот показатель периодов возмущенной геомагнитной обстановки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на половозрелых самцах мышей линии C57Bl/6 массой тела 26–29 г (n=16). Было сформировано две равных по численности (n=8) группы животных одна из которых находилась в изолированной комнате вивария ИВНД и НФ РАН (мыши этой группы получены из вивария ИППЭ РАН), а вторая группа располагалась в нежилой квартире жилого дома (мыши этой группы получены из вивария НИИ морфологии человека). Расстояние между пунктами содержания этих двух групп мышей составляло 2 км. При работе с экспериментальными животными руководствовались Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или других научных целей (Страсбург, 1986 г.). Животных первой группы содержали в двух звукоизолированных вентилируемых камерах, с внутренним размером 110x45x70 см. Мыши содержались по одной особи в пластиковых прозрачных боксах размерами 16x16x40см. В каждой камере размещалось по 4 бокса и, соответственно, в двух камерах – 8 мышей. В камерах поддерживалась постоянная температура 23–26 °С, обеспечивался свободный доступ к воде и пище. Животные находились при постоянном освещении интенсивностью 100 лк от источника цветовой температурой 3200К.

Животных второй группы содержали в индивидуальных пластиковых клетках (40×14,5×24 см) при постоянном умеренном освещении (400–500 лк от источника с цветовой температурой 4200К). Доступ к воде и пище был свободным. Запас воды и еды был достаточен для нормального жизнеобеспечения в течение 20 сут.

Измерения температуры тела выполнялись с шагом 1 минута. С этой целью датчики ДТН4-28/ТЛ4-28 (ООО «ЭМБИ РЕСЕРЧ»/ LLC EMBI RESEARCH, Новосибирск) со встроенным 3D акселерометром были имплантированы в брюшную полость животных не позднее, чем за 10 сут до начала эксперимента. При операции в качестве анестетика использовали Золетил («Virbac Sante Animale», Франция), вводимого внутримышечно в дозе 5–7 мг/кг. Данные о температуре и двигательной активности накапливались в памяти датчика в течение 20 сут, а затем считывались бесконтактным способом.

На основании того, что коэффициент корреляции между температурой тела и двигательной активностью исследованных мышей в разные дни составляет от 0,55 до 0,74 при $p < 0,001$, в тексте статьи мы отождествляем повышение температуры тела с увеличением активности животных. Другими авторами у грызунов также установлена выраженная связь УР двигательной активности и температуры тела [18].

Значения планетарного индекса геомагнитной активности (А_p-индекс), V_z-компоненты ММП взяты с сайтов ИЗМИРАН (www.izmiran.rssi.ru) и службы Солнца (США; www.swpc.noaa.gov).

При статистической обработке полученных данных использовали программу Statistica 7.0 (StatSoft, Inc.). Спектральный анализ проводили методом быстрого преобразования Фурье. С целью выявления подобия спектральной плотности мощности колебаний температуры тела у двух групп мышей рассчитывали коэффициент их корреляции по Спирмену (r). С целью выявления фазового соответствия ритмов активности между двумя группами животных использовали метод наложенных эпох: распределяли показатели температуры тела одной группы мышей относительно предварительно выявленных выраженных максимумов (>1 °С от исходного уровня) температуры тела другой группы животных. Статистическую значимость различий между значениями показателей, в зависимости от характера распределения определяли по тесту Манна-Уитни (ненормальное) или t-критерию Стьюдента (нормальное). Результаты расчетов считали статистически значимым при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью выявления степени синхронизации ритмов температуры тела между двумя изолированными друг от друга группами мышей рассчитывали коэффициент кросс-корреляции между показателями спектральной плотности мощности ежеминутных приростов температуры тела в диапазоне периодов 6–20 мин у этих двух групп животных. Учитывая, что положительный коэффициент корреляции может определяться случайным совпадением выраженности периодов динамики температуры тела этих двух групп мышей, мы рассчитывали коэффициент кросс-корреляции спектров мощности не только для одновременных рядов, но и со сдвигом по времени на 1 сут значений температуры тела одной группы животных

относительно другой. Рассчитанные для суточных временных интервалов коэффициенты кросс-корреляции для одновременных событий (без сдвига по времени) имеют статистически значимо ($p=0,036$) более высокие значения, чем при сдвиге по времени показателей одной группы мышей относительно другой (Рис. 1 А).

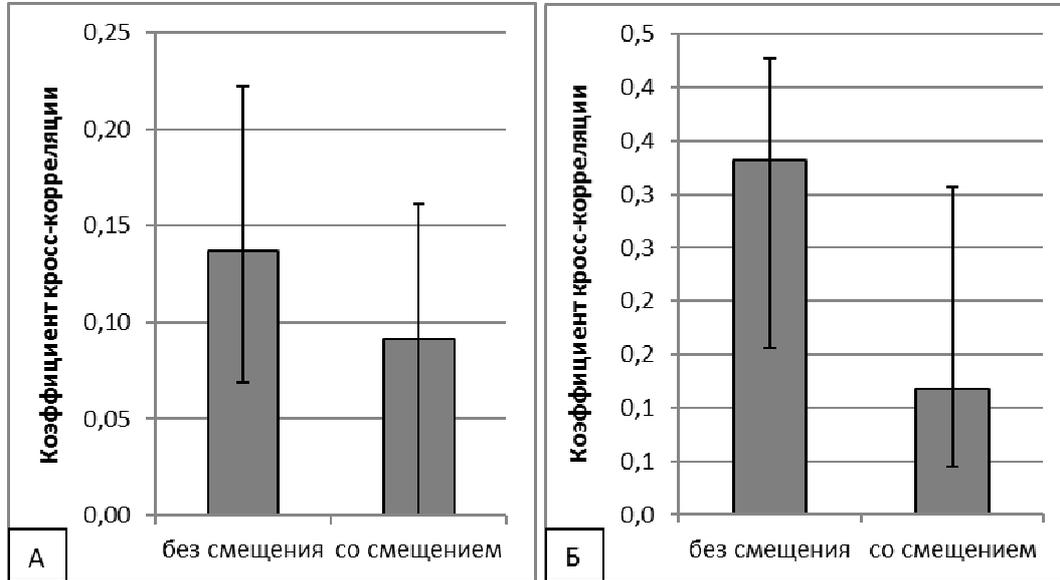


Рис. 1. Рассчитанные коэффициенты корреляции между спектральной плотностью мощности изменений температуры тела двух изолированных друг от друга групп мышей для одновременных измерений (без смещения) и со сдвигом по времени данных одной группы мышей относительно другой. Представлены медианы и интерквартильный размах. **А** – для диапазона периодов 6–20 мин, спектры мощности рассчитаны для суточных временных интервалов; **Б** – для диапазонов периодов 100–260 мин, спектры мощности рассчитаны по 3-суточным временным интервалам.

На рисунке 2 представлена ежесуточная динамика изменения коэффициента корреляции спектральной плотности мощности изменений температуры тела в диапазоне 6–20 мин между двумя изолированными друг от друга группами мышей в сопоставлении с A_p -индексом геомагнитной активности и значением вертикальной составляющей межпланетного магнитного поля. Можно заметить, что достоверные коэффициенты корреляции между двумя группами мышей наблюдаются не каждый день. Коэффициент корреляции между показателем степени синхронизации ритмов у двух групп мышей и A_p -индексом геомагнитной активности, характеризующим уровень возмущенности ГМП, составил $-0,36$ ($p=0,019$), а с показателем напряженности вертикальной составляющей межпланетного магнитного поля равен $0,27$ ($p=0,08$).

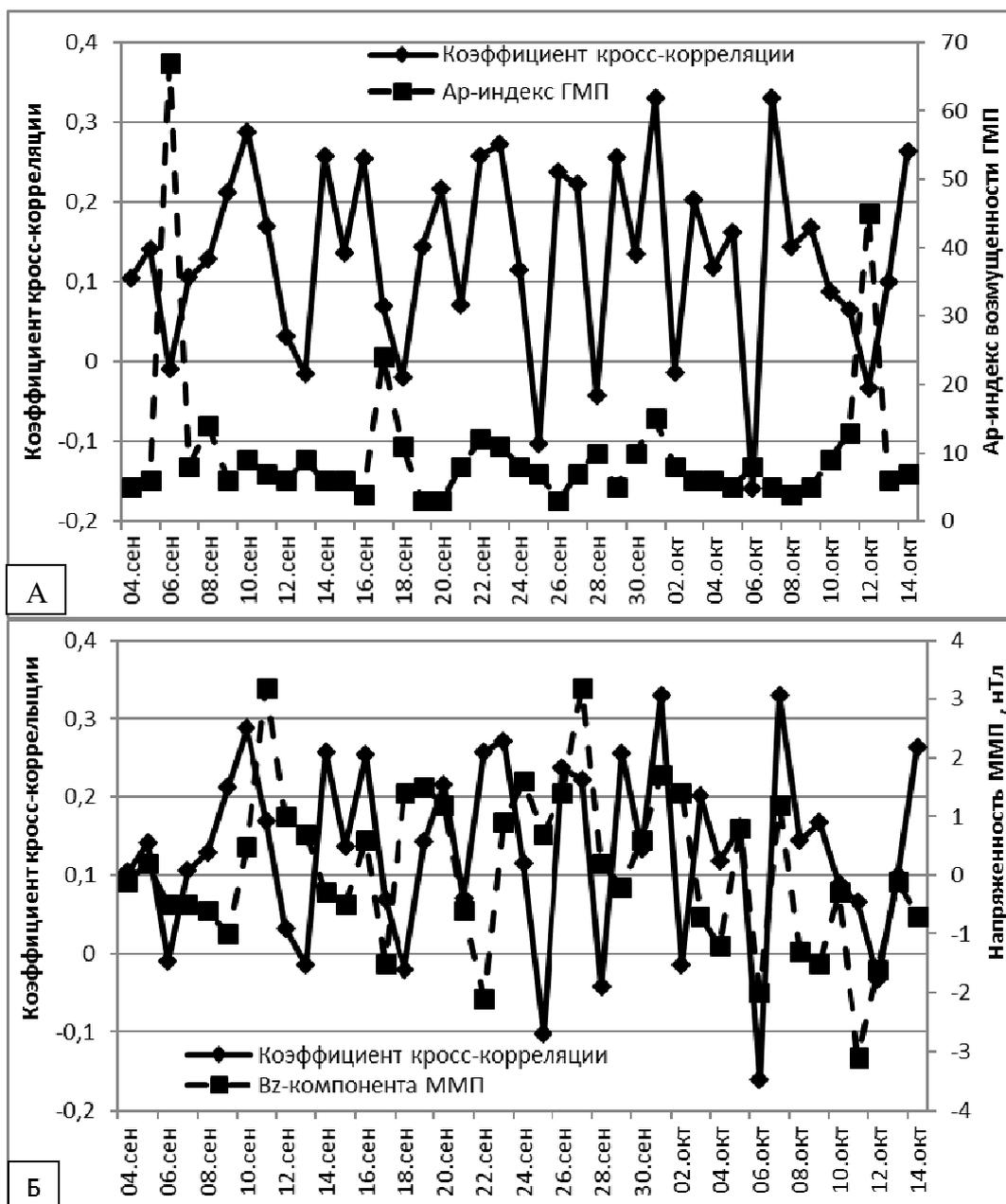


Рис. 2. Ежесуточная динамика изменения коэффициента корреляции спектральной плотности мощности ежеминутных изменений температуры тела в диапазоне 6–20 мин между двумя изолированными друг от друга группами мышей в сопоставлении с Ар-индексом геомагнитной активности (А) и значением вертикальной составляющей межпланетного магнитного поля (Б). Статистически значимыми коэффициентами корреляции являются значения ≥ 0.14 .

Исследуя степень сопряженности изменений спектра температуры тела в диапазоне 100–260 мин рассчитывали коэффициенты кросс-корреляции спектральной плотности мощности между двумя группами животных для трехсуточных временных отрезков. В 64 % случаев (9 из 14) коэффициент корреляции был статистически значим (Рис. 3). Коэффициент кросс-корреляции между показателями спектральной плотности мощности температуры тела в диапазоне 100–260 мин у этих двух групп животных при расчете для одновременных событий статистически значимо ($p=0,026$) выше, чем при расчете для сдвинутых по оси времени на 3 сут (Рис. 1 Б).

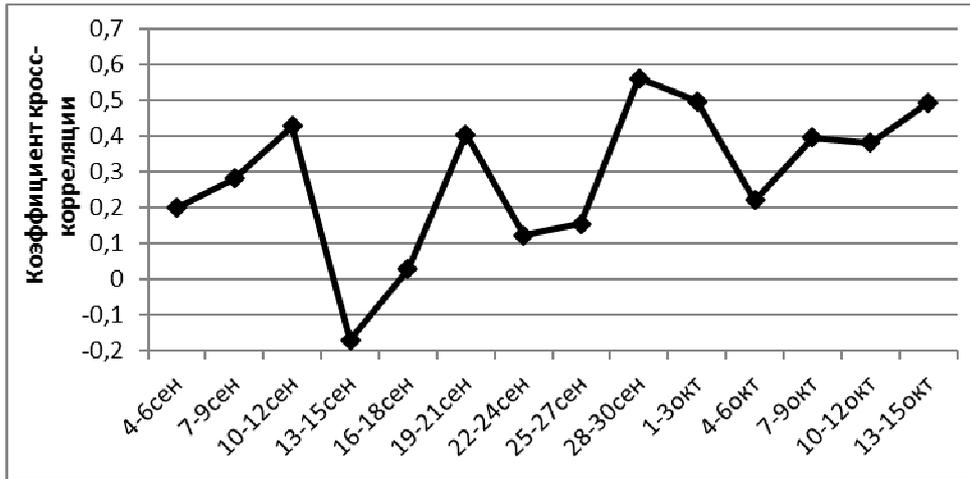
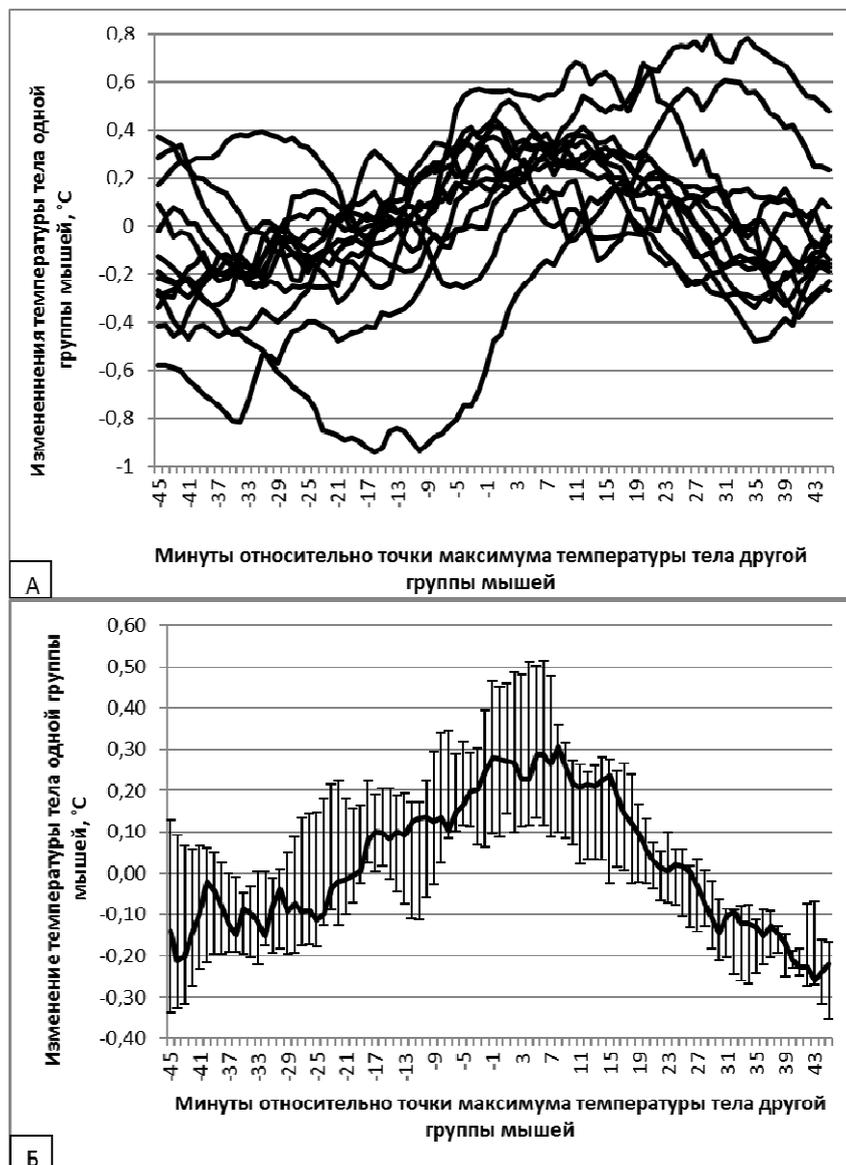


Рис. 3. Динамика значений коэффициента корреляции спектральной плотности мощности температуры тела в диапазоне 100–260 мин между двумя изолированными друг от друга группами мышей. Спектры мощности и коэффициенты корреляции рассчитаны для 3-суточных временных интервалов. Статистически значимыми коэффициентами корреляции являются значения ≥ 0.22 .

С целью выявления фазового соответствия циклов активность/покой между животными разных групп нами было выполнено методом наложения эпох распределение значений температуры тела одной группы мышей относительно точек максимумов соответствующих увеличению более чем на 1°C температуры тела мышей другой группы. При анализе использовали медианные значения температуры тела по группе мышей. На Рисунке 4 А представлен пример посуточных кривых распределения отклонений от среднего значения температуры тела мышей для данного временного участка. Затем было вычислено медианное значение и интерквартильный размах отклонений температуры тела относительно среднего уровня для данных полученных на суточных временных интервалах за три периода наблюдений (Рис. 4 Б, В, Г). Для всех трех временных интервалов исследования (4–14 сентября, 15 сентября – 1 октября и 2–14 октября) в области максимумов температуры тела одной группы мышей (10 мин до – 20 мин после)

наблюдаются положительные значения отклонений температуры тела другой группы мышей, а в остальные периоды за 40–15 мин до и 30–45 мин после максимума температуры тела – отрицательные значения. Между показателями отклонений температуры тела мышей одной группы в период 10 мин до – 20 мин после максимумов температуры тела мышей другой группы и остальными временными отрезками (40–15 мин до и 30–45 мин после) выявляется статистически значимое различие ($p < 0,001$).



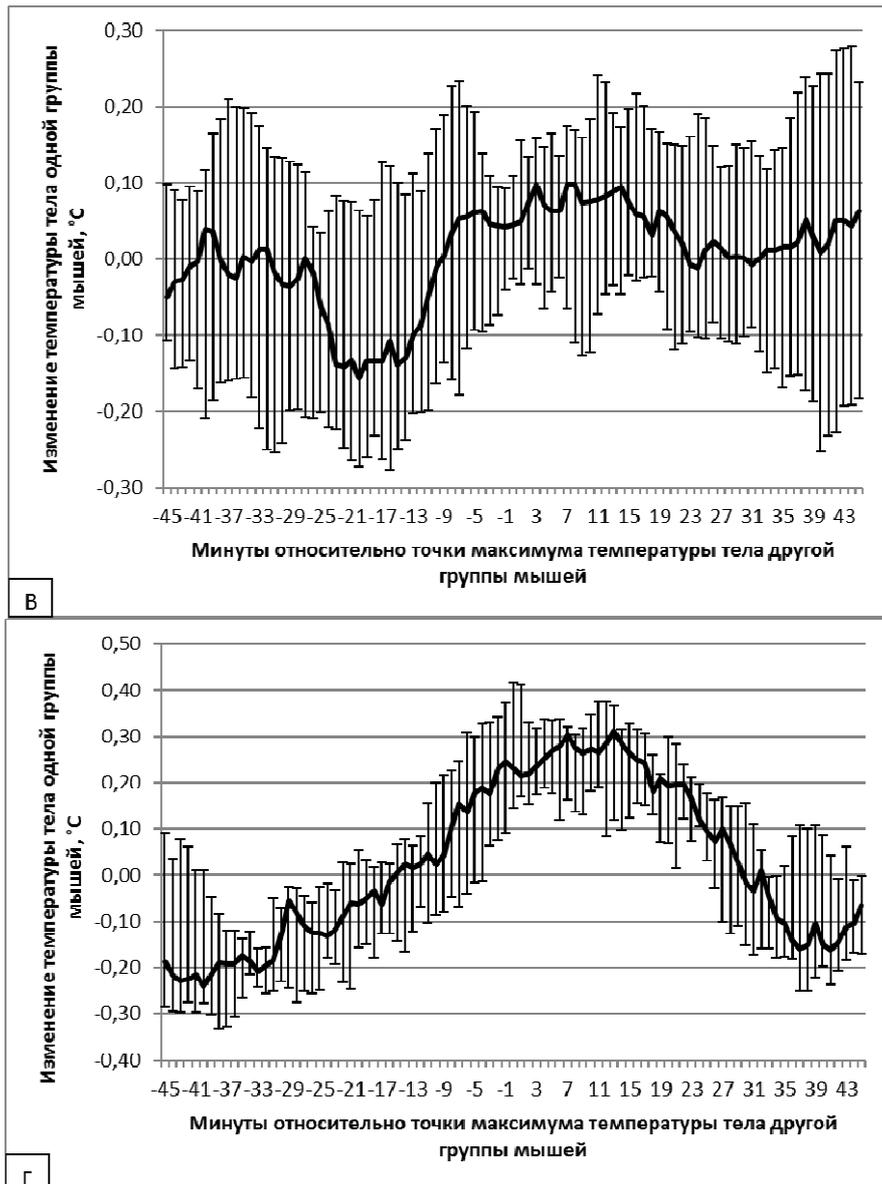


Рис. 4. Распределение методом наложенных эпох значений температуры тела одной группы мышей относительно точек максимумов соответствующих увеличению более чем на 1 °С температуры тела мышей другой группы. **А** – Пример динамики отклонений температуры тела относительно среднего уровня, усредненных за суточные интервалы. **Б** – Медианное значение и интерквартильный размах отклонений температуры тела относительно среднего уровня для данных полученных на суточных интервалах за периоды наблюдений 4 – 14 сентября, **В** – 15 сентября – 1 октября и **Г** – 2 – 14 октября 2021г.

Нами показано, что в двух диапазонах периодов (6–20 мин и 100–260 мин) значения коэффициента корреляции между спектрами мощности температуры тела мышей двух групп, изолированных друг от друга и от световых ориентиров смены цикла день/ночь, статистически значимо выше при расчете одновременных рядов данных, чем при смещении по времени температурных данных одной группы мышей относительно другой. Следовательно, связь ритмичности изменения температуры тела не определяется случайным совпадением значений периодов, характерных для мышей обеих групп, т.к. в различные временные интервалы преобладают разные по значению периодичности, но в обеих исследуемых группах животных одновременно наблюдаются сходные гармоника. Если бы при расчете без смещения по времени и со смещением данных одной группы мышей относительно другой положительные коэффициенты корреляций спектральной плотности изменений температуры тела мышей были бы одинаковыми, это означало бы, что они определяются случайным совпадением характерных для обеих групп животных ритмов, которые не изменяются день ото дня.

Можно предположить, что синхронные изменения преобладающих периодов в динамике температуры тела у двух изолированных друг от друга групп мышей вызывает внешний квазиритмический фактор среды, который либо непосредственно определяет эти ритмы активности мышей, либо синхронизирует их эндогенные ритмы. Установленный нами факт фазового совпадения ритмов активности между двумя исследуемыми группами мышей дополнительно свидетельствует в пользу гипотезы существования внешнего синхронизирующего УР грызунов фактора среды отличного от режима свет/темнота.

Нами показано, что увеличение возмущенности ГМП приводит к снижению степени синхронизации ритмов температуры тела между двумя изолированными друг от друга группами мышей. При отрицательных значениях вертикальной составляющей межпланетного магнитного поля, которые способствуют нарушению квазиритмических колебаний ГМП также наблюдается снижение значений коэффициента корреляции спектров мощности температуры тела между двумя исследуемыми группами мышей. Аналогичные данные о десинхронизирующем влиянии геомагнитных возмущений и бурь были получены Гурфинкелем при наблюдениях за ритмическими изменениями параметров сердечно-сосудистой системой [19]. Однако все эти данные нельзя однозначно трактовать как доказательство геомагнитной природы внешнего синхронизатора УР, так как в периоды магнитных бурь изменяется целый комплекс параметров окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изменения спектров мощности динамики температуры тела у двух групп мышей, изолированных друг от друга и от суточного режима смены освещения день/ночь, взаимосвязаны.
2. Синхронные изменения преобладающих частот в динамике температуры тела у двух изолированных друг от друга групп мышей указывают на существование внешнего квазиритмического фактора среды, влияющего на баланс

симпатический/парасимпатического отдела вегетативной нервной системы животных и циклы активность/покой.

3. Возмущенная геомагнитная обстановка отрицательно влияет на степень синхронизации УР температуры тела между двумя изолированными друг от друга группами лабораторных мышей.

На основании представленных результатов можно утверждать, что активность мышцей не случайна во времени, а определяются активизирующим влиянием на организм квазиритмического фактора внешней среды. Проведение дальнейших исследований по поиску природы этого внешнего физического синхронизатора УР приведет к разработке способа немедикаментозного метода влияния на нервную систему организма с целью коррекции ряда заболеваний, в том числе и нарушений сна.

Исследование выполнено из средств государственного бюджета и частично при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-013-00603а.)

Список литературы

1. Eastman C. Circadian temperature and wake rhythms of rats exposed to prolonged continuous illumination / C. Eastman, A. Rechtschaffen // *Physiology & Behavior*. – 1983. – Vol. 31, № 4. – P. 417–427.
2. Mohr E. Variations of core-temperature rhythms in unrestrained sheep / E. Mohr, H. Krzywanek // *Physiology & Behavior*. – 1990. – Vol. 48, № 3. – P. 467–473.
3. Monto S. Very slow EEG fluctuations predict the dynamics of stimulus detection and oscillation amplitudes in humans / S. Monto, S. Palva, J. Voipio, J. M. Palva // *Journal of Neuroscience*. – 2008. – Vol. 28, № 33. – P. 8268–8272.
4. Crevecoeur F. Towards a “gold-standard” approach to address the presence of long-range auto-correlation in physiological time series / F. Crevecoeur, B. Bollens, C. Detrembleur, T. M. Lejeune // *Journal of Neuroscience Methods*. – 2010. – Vol. 192, № 3. – P. 163–172.
5. Nepomnyashchikh V. A. Correlations in the Rhythmic Organization of Singing in the Great Reed Warbler (*Acrocephalus arundinaceus*, Sylviidae, Aves) / V. A. Nepomnyashchikh, A. S. Opaev // *Doklady Biological Sciences*. – 2014. – Vol. 454, № 2. – P. 43–45.
6. Goh G. H. Episodic ultradian events-ultradian rhythms / G. H. Goh, S. K. Maloney, P. J. Mark, D. Blache // *Biology (Basel)*. – 2019. – Vol. 8, № 1.
7. Blum I. D. A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal / I. D. Blum, L. Zhu, L. Moquin, M. V. Kokoeva, A. Gratton, B. Giros, K.-F. Storch // *Elife*. – 2014. – Vol. 3. – e05105
8. Bourguignon C. Control of rest: activity by a dopaminergic ultradian oscillator and the circadian clock / C. Bourguignon, K. F. Storch // *Frontiers in Neurology*. – 2017. – Vol. 8. – P. 614.
9. Martynyuk V. S. Biological rhythms and electromagnetic fields of the environment / V. S. Martynyuk, B. M. Vladimirsky, N. A. Temuryants // *Geophysical processes and biosphere*. – 2006. – Vol. 5, № 1. – P. 5–23.
10. Martynyuk V. S. Extremely low magnetic fields as a factor of modulation and synchronization of infradian biorhythms in animals / V. S. Martynyuk, N. A. Temuryants // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2010. – Vol. 46, № 7. – P. 820–829.
11. Мартынюк В. С. Внутрисуточные гео- и гелиофизически значимые периоды в интегративном ритме двигательной активности животных / В. С. Мартынюк // *Биофизика*. – 1998. – Т. 43, № 5. – С. 789–796.
12. Zenchenko T. A. Synchronization between human heart rate dynamics and Pc5 geomagnetic pulsation at different latitudes / T. A. Zenchenko, M. Jordanova, L. V. Poskotinova, A. A. Medvedeva, A. E. Alenikova, N. I. Khorseva // *Biophysics*. – 2014. – Vol. 59, № 6. – С. 965–972.

13. Palmer S. J. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface / S. J. Palmer, M. J. Rycroft, M. Cernack // *Surveys in Geophysics*. – 2006. – Vol. 27, № 5. – P. 557–595.
14. McCraty R. Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects / R. McCraty, M. Atkinson, V. Stolc, A. A. Alabdulgader, A. Vainoras, M. Ragulskis // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2017. – Vol. 14, № 7. – P. 770.
15. Diatropov M. E. Circadian rhythms of body temperature in mammals and birds with different metabolism levels / M. E. Diatropov, V. A. Panchelyuga, M. S. Panchelyuga, A. V. Surov // *Doklady Biological Sciences*. – 2020. – Vol. 494. – P. 228–231.
16. Diatropov M. E. Phase analysis of ultradian rhythms of body temperature in laboratory mice maintained under constant illumination at different longitudinal locations / M. E. Diatropov, S. M. Slesarev, T. A. Zenchenko // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. – 2021. – Vol. 172. – P. 72–76.
17. Dorokhov V. B. Synchronization of activity–rest cycle indicators in mice with geomagnetic field variations in the millihertz frequency range / V. B. Dorokhov, G. N. Arseniev, D. S. Sakharov, O. N. Tkachenko, M. E. Diatropov, T. A. Zenchenko // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2021. – Vol. 57, № 10. – P. 1308–1321.
18. Honma K. I. Endogenous ultradian rhythms in rats exposed to prolonged continuous light / K. I. Honma, T. Hiroshige // *American Journal of Physiology* – 1978. – Vol. 235, № 5. – P. 250–256.
19. Гурфинкель Ю. И. Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность / Ю. И. Гурфинкель. – М: ИИКЦ «Эльф-3», 2004. – 170 с.

ON THE RELATIONSHIP OF CHANGES IN THE ULTRADIAN RHYTHMS OF THE BODY TEMPERATURE OF TWO MICE GROUPS ISOLATED FROM EACH OTHER

Diatropov M. E.^{1,2}, Arseniev G. N.³, Shateeva V. S.⁴, Ligun N. B.³, Dorokhov V. B.³

¹*Institute of Ecology and Evolution A. N. Severtsov Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

²*V. A. Nasonova Research Institute of Rheumatology, Moscow, Russian Federation*

³*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

⁴*Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russian Federation*

E-mail: diatrom@inbox.ru

We studied the dynamics of changes in the degree of synchronization of body temperature rhythms in the 6–20 and 100–260 minute range of periods between two groups of mice isolated from each other and under constant illumination, and to assess the effect of periods of disturbed geomagnetic conditions on this indicator. Groups of mice were kept under constant illumination, which avoids synchronization of the activity rhythms by the light factor – changing the light/dark cycle. Body temperature measurements were performed in 1 minute increments. The distance between the sites of these two groups of mice was 2 km. For this purpose, sensors DTN4-28 / TL4-28 (LLC EMBI RESEARCH, Novosibirsk) with a built-in 3D accelerometer were implanted into the abdominal cavity of animals no later than 10 days before the start of the experiment. During the operation, Zoletil (Virbac Sante Animale, France) was used as an anesthetic, administered intramuscularly at a dose of 5–7 mg/kg.

We have shown that in two ranges of periods (6–20 min and 100–260 min), the values of the correlation coefficient between the power spectra of body temperature of mice of two groups, isolated from each other and from the light cues of the day / night cycle change, are statistically significantly higher when calculating simultaneous data series than when the temperature data of one group of mice are shifted in time relative to another. Consequently, the relationship between the rhythmicity of changes in body temperature is not determined by a random coincidence of the values of the periods characteristic of mice of both groups, since at different time intervals, different in terms of frequency prevail, but in both studied groups of animals, similar harmonics are simultaneously observed. If, when calculating without a shift in time and with a shift in the data of one group of mice relative to another, the positive correlation coefficients of the spectral density of changes in body temperature of mice were the same, this would mean that they are determined by a random coincidence of rhythms characteristic of both groups of animals that do not change from day to day.

It can be assumed that synchronous changes in the prevailing periods in the dynamics of body temperature in two groups of mice isolated from each other cause an external quasi-rhythmic environmental factor, which either directly determines these rhythms of activity in mice, or synchronizes their endogenous rhythms. The fact of the phase coincidence of activity rhythms between the two studied groups of mice, which we established, additionally testifies in favor of the hypothesis of the existence of an external synchronizing ultradian rhythms in rodents of an environmental factor different from the light / dark regime.

We have shown that an increase in the disturbance of the geomagnetic field leads to a decrease in the degree of synchronization of body temperature rhythms between two groups of mice isolated from each other. At negative values of the vertical component of the interplanetary magnetic field, which contribute to the disturbance of quasi-rhythmic oscillations of the geomagnetic field, a decrease in the values of the correlation coefficient of the power spectra of body temperature between the two studied groups of mice is also observed. Similar data on the desynchronizing effect of geomagnetic disturbances and storms were obtained by Gurfinkel while observing the rhythmic changes in the parameters of the cardiovascular system [19]. However, all these data cannot be unambiguously interpreted as proof of the geomagnetic nature of the external synchronizer of the UR, since a whole complex of environmental parameters changes during periods of magnetic storms.

Thus we can conclude: 1) Changes in the power spectra of body temperature dynamics in two groups of mice, isolated from each other and from the daily regime of day / night light change, are interrelated. 2) Synchronous changes in the prevailing frequencies in the dynamics of body temperature in two isolated groups of mice indicate the existence of an external quasi-rhythmic environmental factor that affects the balance of the sympathetic / parasympathetic division of the vegetative nervous system of animals and the activity / rest cycles. 3) The disturbed geomagnetic situation negatively affects the degree of synchronization of the UR of body temperature between two groups of laboratory mice isolated from each other.

Based on the results presented, it can be argued that the activity of mice is not random in time, but is determined by the activating effect of the quasi-rhythmic factor of the

external environment on the body. Further research to find the nature of this external physical synchronizer of ultradian rhythms will lead to the development of a non-drug method of influencing the nervous system of the body in order to correct a number of diseases, including sleep disorders.

Keywords: ultradian rhythms, activity/rest cycle, synchronizers, geomagnetic field, mice.

References

1. Eastman C., Rechtschaffen A. Circadian temperature and wake rhythms of rats exposed to prolonged continuous illumination. *Physiology & Behavior*, **31(4)**, 417 (1983).
2. Mohr E., Krzywanek H. Variations of core-temperature rhythms in unrestrained sheep. *Physiology & Behavior*, **48(3)**, 467 (1990).
3. Monto S., Palva S., Voipio J., Palva J. M. Very slow EEG fluctuations predict the dynamics of stimulus detection and oscillation amplitudes in humans. *Journal of Neuroscience*, **28, 33**, 8268 (2008).
4. Crevecoeur F., Bollens B., Detrembleur C., Lejeune T. M. Towards a “gold-standard” approach to address the presence of long-range auto-correlation in physiological time series. *Journal of Neuroscience Methods*, **192(3)**, 163 (2010).
5. Nepomnyashchikh V. A., Opaev A. S. Correlations in the Rhythmic Organization of Singing in the Great Reed Warbler (*Acrocephalus arundinaceus*, Sylviidae, Aves). *Doklady Biological Sciences*, **454(2)**, 43 (2014).
6. Goh G. H., Maloney S. K., Mark P. J., Blache D. Episodic ultradian events-ultradian rhythms. *Biology (Basel)*, **8(1)**, (2019).
7. Blum I. D., Zhu L., Moquin L., Zhu L., Moquin L., Kokoeva M. V., Gratton A., Giros B., Storch K.-F. A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal. *Elife*, **3** (2014).
8. Bourguignon C., Storch K. F. Control of rest: activity by a dopaminergic ultradian oscillator and the circadian clock. *Frontiers in Neurology*, **8**, 614 (2017).
9. Martynyuk V. S., Vladimirsky B. M., Temuryants N. A. Biological rhythms and electromagnetic fields of the environment. *Geophysical processes and biosphere*, **5(1)**, 5 (2006).
10. Martynyuk V. S., Temuryants N. A. Extremely low magnetic fields as a factor of modulation and synchronization of infradian biorhythms in animals. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, **46(7)**, 820 (2010).
11. Martynyuk V. S. Intraday geo- and heliophysically significant periods in the integral rhythm of motor activity of animals. *Biophysics*, **43(5)**, 789 (1998).
12. Zenchenko T. A., Jordanova M., Poskotinova L. V., Medvedeva A. A., Alenikova A. E., Khorseva N. I. Synchronization between human heart rate dynamics and Pc5 geomagnetic pulsation at different latitudes. *Biophysics*, **59(6)**, 965 (2014).
13. Palmer S. J., Rycroft M. J., Cermack M. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth’s surface. *Surveys in Geophysics*, **27(5)**, 557 (2006).
14. McCraty R., Atkinson M., Stolz V., Alabdulgader A. A., Vainoras A., Ragulskis M. Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **14(7)**, 770 (2017).
15. Diatropov M. E., Panchelyuga V. A., Panchelyuga M. S., Surov A. V. Circadian rhythms of body temperature in mammals and birds with different metabolism levels. *Doklady Biological Sciences*, **494**, 228 (2020).
16. Diatropov M. E., Slesarev S. M., Zenchenko T. A. Phase analysis of ultradian rhythms of body temperature in laboratory mice maintained under constant illumination at different longitudinal locations. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, **172**, 72 (2021).
17. Dorokhov V. B., Arseniev G. N., Sakharov D. S., Tkachenko O. N., Diatropov M. E., Zenchenko T. A. Synchronization of activity–rest cycle indicators in mice with geomagnetic field variations in the millihertz frequency range. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, **57(10)**, 1308 (2021).
18. Honma K. I., Hiroshige T. Endogenous ultradian rhythms in rats exposed to prolonged continuous light. *American Journal of Physiology*, **235(5)**, 250 (1978).
19. Gurfinkel Y. I. *Coronary artery disease and solar activity* (ИКС «El’f-3», Moscow, 2004) 170 pp.