

С. В. Холодкевич, Т. В. Кузнецова, А. В. Иванов, В. В. Трусевич,
А. С. Куракин

Ультрадианные ритмы кардиоактивности и движения створок черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam.

(Представлено членом-корреспондентом НАН Украины Г. Е. Шульманом)

Вперше в Україні і Росії здійснено одночасні вимірювання й аналіз у реальному часі кардіоактивності та руху створок мідій. Виявлено ультрадіанні ритми (УР) з періодами 10, 25, 30 та 40 хв як рухової, так і кардіоактивності двостулкових молюсків. Показано, що УР кардіоактивності та руху створок можуть з'являтися синхронно, в протифазі, а також незалежно один від одного, що свідчить про складний зв'язок цих двох процесів. Основою цього явища, очевидно, є циклічні зміни швидкості фільтрації та харчової поведінки мідій, що регулюються сифоном та рухом створок у конкретних умовах існування. Зроблено висновок, що аналіз ритміки фізіології та поведінки мідій є необхідним для коректної інтерпретації результатів цілого ряду досліджень з впливу природних та антропогенних факторів на кардіоактивність та рух створок молюсків. Звернено увагу на принципову можливість використання УР як біомаркерів для вирішення широкого кола задач щодо оцінки стану навколишнього середовища.

Известно, что всем живым организмам присуще проявление ритмичности в работе их систем и органов. В пределах одной функциональной системы имеют место ритмы различных частотных диапазонов, что, по-видимому, способствует строгой иерархической организации разнообразных процессов внутри организма. Особое внимание в исследованиях физиологических и поведенческих реакций животных уделяется изучению ультрадианных ритмов (УР), поскольку они отражают особенности протекания основных физиологических процессов, могут характеризовать механизмы краткосрочных физиологических реакций организма животных и осуществляться на разных уровнях их организации [1]. В частности, стабильность ультрадианных клеточных циклов является ключевым фактором для нормального развития и функционирования живого организма, а ее отсутствие может приводить к тяжелым нарушениям развития [2]. Показана также принципиальная возможность использования УР при решении широкого круга задач оценки состояния окружающей среды [3].

В недавней работе [4] сообщалось об обнаружении в условиях аквариумного содержания УР в движении мантийных тканей и створок мидий *Mytilus edulis* (L.), которые авторы связывают с циклическими изменениями в скорости фильтрации и поведении в процессе питания. В этих лабораторных исследованиях поведение мидий изучали неинвазивно с помощью веб-камеры и оригинальной программы обработки и анализа изображения.

Целью проведенного нами исследования являлось изучение особенностей проявления УР в кардиоактивности и движении створок двустворчатых моллюсков.

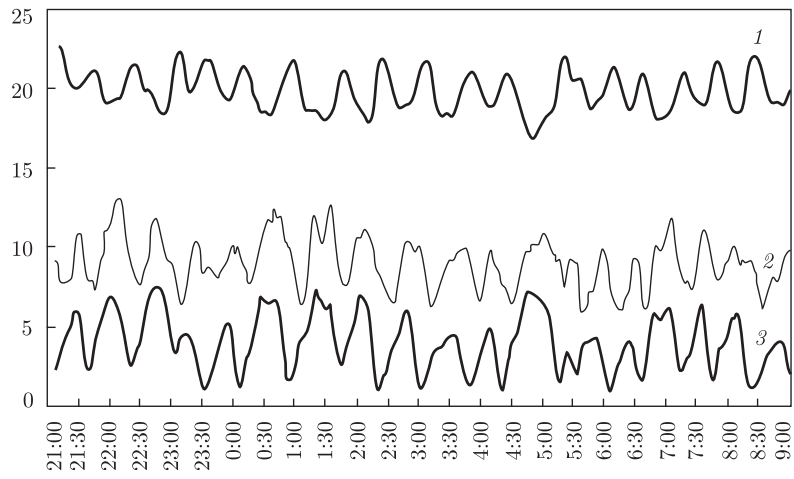
Объектом исследования были двулетние черноморские двустворчатые моллюски — мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam., собранные в районе Карадагского природного заповедника НАН Украины. Часть работы была проведена в аквариальных помещениях заповедника, часть — в лабораторных условиях в НИЦ экологической безопасности РАН. Мидий предварительно акклимировали к условиям лабораторного содержания в течение двух недель. Опыты проводили при температуре проточной морской воды 19–19,5 °С. Кардиоактивность измеряли с помощью лазерного волоконно-оптического 7-канального фотоплетизмографа [5, 6], что обеспечивало одновременную регистрацию ЧСС семи мидий. Движение створок тех же мидий регистрировали с помощью специального комплекса автоматизированной регистрации движений створок моллюсков, разработанного и изготовленного в Институте биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины [7]. Используемый датчик движения створок, основанный на эффекте Холла, широко применяется в подобных исследованиях за рубежом [8]. Описание использованного в данной работе погружного измерительного модуля, в котором объединены системы неинвазивного отведения кардиоактивности и движения створок мидий, приведено нами в сообщении [9].

Анализ полученных ранее данных позволил нам обнаружить в кардиоактивности двустворчатых моллюсков УР с периодами 10 и 30 мин [10]. Зафиксированные нами в этих исследованиях *in situ* УР отражают, по-видимому, регулируемые сифоном и движением створок циклические изменения в скорости фильтрации и в пищевом поведении мидий в конкретных условиях обитания (местоположение, время года, температура, содержание фитопланктона и детрита в воде и т. п.).

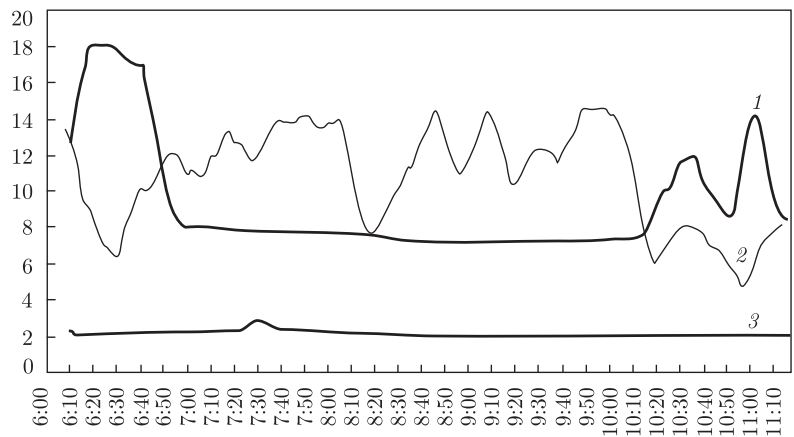
На рис. 1 проиллюстрированы полученные в разные дни примеры обнаружения УР одновременно в кардио- и двигательной активности различных мидий, закрепленных биссусом к стенкам аквариума с проточной морской водой, т. е. находящихся в условиях, максимально приближенных к естественным. На рис. 1, а УР с периодом около 40 мин проявляются в синхронных изменениях ЧСС, амплитуды сердечных сокращений (АСС) и величины раскрытия створок (ВРС). При этом АСС и ВРС колеблются в противофазе с ЧСС. На рис. 1, б приведен пример состояния моллюска, в котором в течение более чем 3 ч величины ЧСС и ВРС оставались неизменными, а АСС колебалась с периодом 20–25 мин. На рис. 1, в показано, что при неизменной ВРС АСС и ЧСС колеблются в противофазе с периодом около 30 мин. В отдельные дни у некоторых животных в течение нескольких часов наблюдались УР с периодом около 10 мин.

Таким образом, наблюдаемые в движении створок УР могут синхронно проявляться в кардиоактивности различными способами: в виде противофазных изменений ЧСС при неизменной АСС, в виде синфазных изменений АСС при неизменной ЧСС. Кроме того, УР могут наблюдаться в кардиоактивности без заметных изменений в движении створок, и наоборот. Движение створок частично отражает пищевое поведение, следовательно, можно предположить, что зафиксированные проявления разных сочетаний УР кардиоактивности и движения створок отражают особенности пищевого поведения мидий.

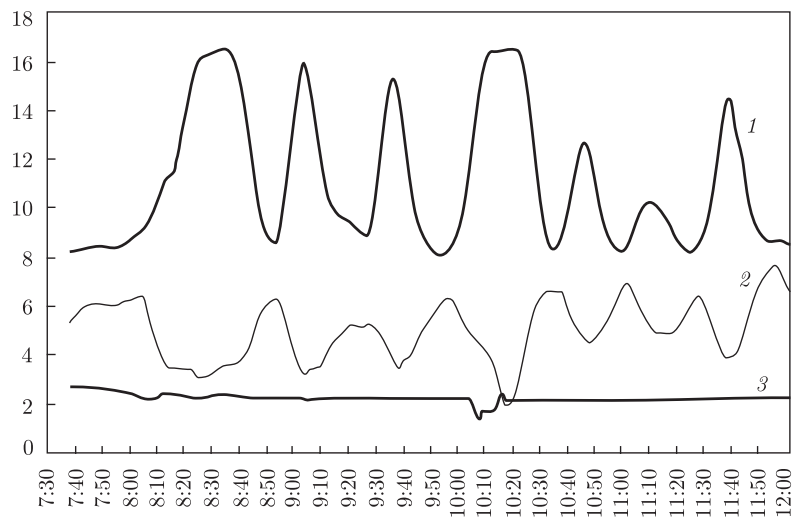
Природа обнаруженных нами УР пока не изучена. Представляется, однако, очевидным, что их наличие необходимо учитывать при анализе данных автоматических систем биомониторинга качества поверхностных вод, в которых в качестве тест-организмов используют двустворчатых моллюсков [10, 11]. Кроме того, анализ эндогенной ритмики ЧСС мидий необходим для более корректной интерпретации результатов целого ряда исследований по влиянию природных и/или антропогенных воздействий на кардиоактивность и движение



a



б



в

Рис. 1. Зависимости ЧСС (1), АСС (2) и ВРС (3) мидии от времени, полученные в разные дни

створок двустворчатых моллюсков. Все это указывает на несомненную актуальность и перспективность дальнейших исследований данного явления.

По мнению авторов, при достаточной изученности ультрадианных ритмов как физиологических показателей особенностей состояния функциональных систем организма животного ультрадианные ритмы кардиоактивности и движения створок моллюсков как новые физиологические биомаркеры могут найти широкое применение в исследованиях функциональных адаптаций морских организмов к изменениям характеристик среды их обитания. Последнее представляет значительный интерес как новый метод решения задач оценки здоровья экосистем по функциональному состоянию ее ключевых видов.

1. *Биологические ритмы*. Т. 2 / Под ред. Ю. Ашоффа. – Москва: Мир, 1984. – 414 с.
2. Edgar B. A., Lehner C. F. Developmental control of cell cycle regulators: a fly's perspective // *Science*. – 1996. – **274**. – P. 1646–1652.
3. Stupfel M., Damiani P., Perramon A. et al. Ultradian and circadian respiratory rhythms in grouped small laboratory species as a method to assess the effects of environmental challenges // *Comp. Biochem. and Physiol.* – 1985. – **80A**, No 2. – P. 225–231.
4. Rodland D. L., Schone B. R., Helama S. et al. A clockwork mollusks: Ultradian rhythms in bivalve activity revealed by digital photography // *J. Exp. Mar. Biol. and Ecol.* – 2006. – **334**. – P. 316–323.
5. Холодкевич С. В., Донченко В. К., Иванов А. В., Корниенко Е. Л., Куракин А. С. Датчик физиологической активности беспозвоночных с жестким наружным покровом и система биологического мониторинга окружающей среды на его основе: Пат. на полезную модель № 61431 (приоритет от 25.08.2006) // *Бюл. изобр.* – 2007. – № 6. – 23 с.
6. Kholodkevich S. V., Fedotov V. P., Ivanov A. V., Kuznetsova T. V., Kurakin A. S., Kornienko E. L. Fiberoptic remote biosensor systems for permanent biological monitoring of the surface waters quality and bottom sediments in the real time // <http://www.ices.dk/products/CMdocs/cm-2007/I/I-2007.pdf>
7. Столбов А. Я., Трусевич В. В., Мишуров В. Ж., Шелянов В. А. Автоматизированный комплекс измерения двигательной активности моллюсков (АКИДАМС) и его применение для мониторинга состояния водной среды // *Сб. науч. тр. Карадаг. природ. заповедника НАН Украины*. – Симферополь: СОНАТ, 2004. – Кн. 2. – С. 226–230.
8. <http://www.mosselmonitor.nl/>
9. Холодкевич С. В., Кузнецова Т. В., Иванов А. В., Любимцев В. А., Халатов А. Н., Куракин А. С., Корниенко Е. Л., Трусевич В. В., Гнубкин В. Ф. Автоматическая система биомониторинга на основе одновременного анализа кардиоактивности и движения створок моллюсков // *Нефть и газ арктического шельфа – 2008: Материалы междунар. конф., Мурманск, 12–14 нояб. 2008 г.* – Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2008. – С. 312–320.
10. Холодкевич С. В., Иванов А. В., Кузнецова Т. В., Куракин А. С. и др. Ультрадианные ритмы в кардиоактивности двустворчатых моллюсков // *Докл. АН*. – 2009. – **426**, № 6. – С. 831–833.
11. Холодкевич С. В., Иванов А. В., Кузнецова Т. В., Куракин А. С., Трусевич В. В. О возможности использования биомаркеров на основе ультрадианных ритмов кардиоактивности и движения створок моллюсков в мониторинге экологического состояния морских акваторий // *Нефть и газ арктического шельфа – 2008: Материалы междунар. конф., Мурманск, 12–14 ноября*. – Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2008. – С. 302–309.

Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург
Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского НАН Украины,
Севастополь

Поступило в редакцию 19.01.2009

S. V. Kholodkevich, T. V. Kuznetsova, A. V. Ivanov, V. V. Trusevich,
A. S. Kurakin

Ultradian rhythms in cardiac and valve activities in the Black Sea mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam.

For the first time in Ukraine and Russia, simultaneous real time recordings and analysis of cardiac activity and valve movements in mussels have been performed. Ultradian rhythms (UR) with periods of 10, 25, 30, and 40 min were revealed in both cardiac activity and valve movements of bivalves. It was shown that UR in cardiac activity and valve movements can appear as in-phase and anti-phase processes, and also as independent events. This indicates the complexity of the relation between these two processes. In the authors' opinion, the observed phenomenon is based on cyclic changes in the speed of filtration and in the food behaviour of mussels corresponding to specific habitat conditions and regulated by a siphon and valve movements. The conclusion is made that the analysis of rhythmicity of physiological and behavioral characteristics of mussels is necessary for the correct interpretation of results obtained in a variety of researches of natural and/or anthropogenic influences on cardiac activity and valve movements of bivalves. The attention was paid to the basic possibility of using UR as biomarkers in a wide range of problems of environmental health assessment.