УДК 574.24, 574.522

ОСОБЕННОСТИ КАРДИОАКТИВНОСТИ ЛИТОРАЛЬНЫХ И СУБЛИТОРАЛЬНЫХ МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* БЕЛОГО МОРЯ

А. Н. Шаров[1], С. В. Холодкевич [1,2]

[1]Санкт-Петербургский научно-исследовательский Центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, РФ, sharov_an@mail.ru

[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, РФ

В ходе лабораторного тестирования с помощью неинвазивного волоконно-оптического метода исследовали особенности кардиоритма литоральных и сублиторальных мидий *Mytilus edulis* L. Белого моря. Была установлена зависимость показателей кардиоактивности от мест обитания и размерно-возрастных параметров моллюсков. ЧСС мидий снижается с увеличением размеров и возраста моллюсков. Используя функциональную тест-нагрузку (50% снижение солености воды на 1 час), показано, что физиологическое состояние сублиторальных мидий лучше по сравнению с литоральными.

Ключевые слова: Mytilus edulis, частота сердечных сокращений, физиологическое состояние

Приспособление организма к изменившимся условиям среды обитания требует включения адаптационных механизмов и требует от организма дополнительных энергетических затрат на их осуществление, в ряде случаев при длительном воздействии к гиперкомпенсации этих затрат и к сопровождающим их функциональным сдвигам – увеличению размеров сердца, печени, повышению концентрации гемоглобина в крови и т.д. Мидии Белого моря обитают в широком диапазоне солености воды - от 8 до 30‰ [1]. Мидии встречаются как в верхних горизонтах литорали, так и на больших глубинах более 200 м. Массовые поселения мидий обнаруживаются от среднего горизонта литорали до глубин 10-15 м, т.е. в зоне часто меняющихся условий среды обитания. Мидии обладают способностью герметизировать мантийную полость при экстремальных внешних воздействиях. Закрывание створок раковины (изоляция организма) наблюдается при снижении солености воды до 12-14‰ [1], при этом мидии имеют высокую устойчивость к низкой солености. Гибель беломорской мидии начинается через 5 суток пребывания в пресной воде. Возвращение в воду с нормальной солености происходит резкое увеличение физиологической активности моллюсков: возрастает скорость потребления кислорода и двигательная активность [1]. Чувствительность механизмов изоляции организма претерпевает адаптивные изменения в зависимости от условий обитания моллюсков. Данный эффект был использован при разработке нового биомаркера (индекса) функционального состояния моллюсков: время восстановления сердечного ритма после кратковременной функциональной нагрузки (понижение солености воды на 50%, с 24 до 12‰) согласно ранее предложенной методике [2].

Реакция кардиосистемы может рассматриваться как интегральный ответ организма на изменение факторов среды обитания [3]. Частота сердечных сокращений (ЧСС) отражает интенсивность физиологических процессов, а также, во многих случаях, позволяет судить о функциональном состоянии организма в целом.

Целью настоящей работы было исследовать особенности кардиоритма литоральных и сублиторальных мидий *Mytilus edulis* (L.) в зависимости от их размерно-возрастных показателей, выявить различия функционального состояния в зависимости от условий обитания моллюсков.

Материал и методы. Объектом исследования были мидии *M. edulis*, собранные в районе Беломорской биологической станции «Картеш» (ББС) Зоологического Инсти-

тута РАН, расположенной в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря (66°20.230'N; 33°38.972'E). Сублиторальные мидии собраны с многолетних обрастаний искусственных субстратов, подвешенных в верхнем 3-м слое воды, литоральные – с камней в среднем горизонте приливо-отливной зоны. Чтобы не повредить биссусную железу, моллюсков отделяли, аккуратно перерезая прикрепительные нити. Соленость воды в период сбора (октябрь 2015 г.) моллюсков составляла 24‰, температура воды 10-12°С. Соленость в ходе эксперимента измерялась с помощью рефрактометра с температурной поправкой. Экспериментальные аквариумы с системой аэрации находились в изотермической камере при температуре 10°С и искусственном освещении в период с 8:00 до 20:00. Все мидии перед началом эксперимента были акклимированы в течение суток к лабораторным условиям. Перед акклимацией ко всем мидиям с внешней стороны их створок (над местом расположения сердца) с помощью цианакрилатного клея крепили специальный миниатюрный держатель, в котором затем фиксировали волоконно-оптический датчик весом 2 г.

В ходе всего эксперимента у всех тестируемых животных проводили постоянную регистрацию кардиоактивности оригинальным волоконно-оптическим методом [4, 5]. Метод основан на измерении периодических изменений характеристик отражения и рассеяния света полупроводникового лазера низкой интенсивности, обусловленных движением сердечной мышцы, с последующим преобразованием полученного оптического сигнала, поступающего от установленного на раковине датчика, в цифровой. Система обработки сигнала включала аналого-цифровой преобразователь, компьютер и оригинальное программное обеспечение VarPulse [2, 5].

Физиологическое состояние мидий оценивали по времени восстановления сердечного ритма у животных после кратковременной функциональной нагрузки, согласно ранее предложенной методике [2]. В качестве функциональной нагрузки использовали резкое понижение солености воды на 50% (с 24‰ до 12‰), лежащее в пределах толерантности беломорских мидий, с последующим восстановлением солености до исходной. В условиях пониженной солености животных экспонировали в течение одного часа. Смену воды, как при понижении, так и при повышении (возвращении к исходной) солености, проводили быстро, в течение 2-3 минут. При этом старались минимизировать сопряженные с процедурой турбулентные потоки и не допускали изменений температуры воды. Время восстановления ($T_{восст}$) ЧСС определяли как временной интервал (в минутах) от восстановления солености воды до момента, когда ЧСС данной особи переставала отличаться от значения ее ЧСС до понижения солености [2, 5].

После проведения эксперимента у всех мидий измеряли длину, высоту и толщину (выпуклость) раковины, определяли возраст по зимним кольцам остановки роста. Результаты представлялись в виде средних и их погрешностей ($M \pm m$). Для нормализации распределения и линеаризации анализируемых зависимостей данные были трансформированы путем логарифмирования. Нормальность и однородность выборок проверялись с использованием подхода Шапиро-Уилка ($p > 0.05$). Различия между средними оценивались при помощи однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с использование статистического пакета Data Analysis ToolPak (MS Excel 2010) при этом достоверность различий была установлена при $p < 0.05$. Для оценки связи времени восстановления ЧСС с размерными показателями моллюсков был использован метод непараметрический корреляции Спирмена.

Результаты и обсуждение. Длина раковины мидий варьировала от 9 до 78 мм, высота - от 6 до 40 мм, толщина – от 3 до 36 мм. Судя по кольцам зимней остановки

роста, возраст мидий, использованных в работе, был от 2-х до 16 лет. Средние значения для литоральных и сублиторальных моллюсков представлены в табл. 1. Размерно-возрастные показатели мидий из разных мест обитания достоверно отличались по длине (n = 25, p = 0,004), высоте (n = 25, p=0,002) и возрасту (n = 25, p = 0,002). Литоральные моллюски были мельче, но средний возраст по группе был больше. Известно, что сублиторальные мидии имеют выше темп роста, что связано с более благоприятными абиотическими условиями и непрерывным процессом питания [6].

Табл. 1 Размерно-возрастные показатели мидий *Mytilus edulis* и характеристик их кардиоактивности (октябрь 2015)

Показатели	Литораль	Сублитораль
Длина, мм	36,8±1,9*	50,5±3,0*
Высота, мм	18,9±0,9*	26,9±1,5*
Толщина, мм	17,1±1,1	20,2±1,4
Возраст, лет	7,5±0,6*	4,8±0,4*
ЧСС фона, уд./мин	13,1±0,5*	18,6±1,1*
$T_{восст}$, мин	38±1,3*	31±2,0*

* достоверные отличия (ANOVA, $p < 0,05$)

ЧСС мидий из разных биотопов с высокой степенью достоверности (n = 25, p = 0,000) отличалась. Более высокий уровень сердечной активности (ЧСС фона) у сублиторальных мидий, вероятно, отражает повышенный уровень их метаболизма по сравнению с литоральными моллюсками [7].

Время восстановления ЧСС ($T_{восст}$) после часового экспонирования моллюсков в условиях пониженной солености воды было меньше (n = 21, p = 0,015) у сублиторальных моллюсков по сравнению с литоральными. Условия обитания в среднем горизонте литорали характеризуются значительной вариабельностью солености воды, поэтому обитающие тут мидии, фенотипически адаптированы к таким условиям [1]. Обитающие на литорали мидии постоянно подвергаются воздействию резко изменяющихся абиотических факторов. Сублиторальные организмы находятся в относительно стабильных условиях, лучше обеспечены пищей, и, вероятно, имеют относительно лучшее функциональное состояние по сравнению с литоральными.

Установлены корреляционные связи между сердечной активностью и размерно-возрастными характеристиками мидий в сублиторали. ЧСС мидий имеет отрицательную зависимость от размеров моллюсков: длины (Спирмен R = -0.77, p = 0.000), высоты (Спирмен R = -0.73, p = 0.003) и толщины (Спирмен R = -0.72, p = 0.000). С увеличением возраста моллюсков ЧСС достоверно снижалась (Спирмен R = -0.819, p = 0.000). Подобные закономерности нами были также обнаружены и на пресноводных моллюсках [8]. Время восстановления ЧСС также зависит от возраста мидий, но имеет более слабую корреляционную связь (Спирмен R=0.458, p = 0.048).

Для литоральных мидий связи между сердечной активностью и размерно-возрастными характеристиками оказались не достоверными.

Выводы. Характеристики кардиоактивности сублиторальных мидий *Mytilus edulis* зависят от их размерно-возрастных показателей. ЧСС мидий снижается с увеличением размеров и возраста моллюсков. Для литоральных мидий такие закономерности не обнаружены. Функционального состояния зависит от условий обитания моллюсков. Относительно более высокий уровень сердечной активности и лучшее состояние отмечен у сублиторальных мидий.

Благодарности. Работа выполнена с частичным использованием оборудования Ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» Научного парка СПбГУ.

1. Бергер В.Я. *Адаптация морских моллюсков к изменениям солености среды*. Л.: Наука, 1986. 216 с.
2. Холодкевич С.В., Шаров А.Н., Кузнецова Т.В. Перспективы и проблемы использования биоэлектронных систем в мониторинге состояния экологической безопасности акваторий Финского залива // *Региональная экология*. 2015. Т.37, №2. С. 16–26.
3. Depledge M.H., Lundebye A.K., Curtis T., Aagaard A., Andersen B.B. Automated interpulse-duration assessment (AIDA): a new technique for detecting disturbances in cardiac activity in selected invertebrates // *Mar. Biol*. 1996. V. 126, N 2. P. 313—319.
4. Kholodkevich S.V., Ivanov A.V., Kurakin A.S., Kornienko E.L. Fedotov V.P. Real time biomonitoring of surface water toxicity level at water supply stations // *Journal of Environmental Bioindicators.* 2008. V. 3, N 1. P. 23-34,
5. Kholodkevich S., Sharov A., Nikoli´c M., Joksimovi´c A. Bioindication of Aquatic Ecosystems on the Base of the Assessment of Functional State of Freshwater Bivalve Mollusks Biomarkers // Embedded Computing (MECO), 2015. IEEE conference publications, Budva, Montenegro, 2015. P. 345-348.
6. Ross J.R.P., Goodman D. Vertical intertidal distribution of Mytilus edulis // *Veliger.* 1974. V. 16, N 4. P. 388-395.
7. Бахмет И.Н., Бергер В.Я., Халаман В.В. Сердечный ритм у мидии *Mytilus edulis* (Bivalvia) при изменении солености // *Биология моря*, 2005, Т. 31, № 5, с. 363-366.
8. Шаров А.Н., Холодкевич С.В. О некоторых особенностях использования пресноводных двустворчатых моллюсков при проведении экотоксикологических исследований на основе мониторинга их кардиоритма волоконно-оптическим методом // *Принципы экологии*. 2015. Т. 4. № 2. С. 23–30.

HEART ACTIVITY IN THE LITTORAL AND SUBLITTORAL WHITE SEA BLUE MUSSELS *MYTILUS EDULIS*

A. N. Sharov[1], S. V. Kholodkevich[1,2]

[1]Saint-Petersburg Scientific Research Center for Ecological Safety, RAS, St.-Petersburg, RF, sharov_an@mail.ru
[1]Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, St.-Petersburg, RF

Features heart rate of mussel *Mytilus edulis* L. from White Sea littoral and sublittoral zone have been investigated during laboratory test using a non-invasive optical fiber method. The dependence of the cardiac activity by habitat and age-length parameters of mussels has been established. HR decreases with an increase in the size and age of mussels. Using functional test load (50% reduction in water salinity for 1 hour), it is shown that the physiological condition of subtidal mussels better compared to the littoral.

Key words: Mytilus edulis, heart rate, physiological condition