

УДК 619.594:591.2

**ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ГОЛОВОНОГИХ  
И БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКАХ****Джалавханов Ричард Вадимович**

Аспирант кафедры физиологии и химии

ФГБОУ ВО Курская государственная аграрная академия им. И.И.

Иванова, г. Курск, Россия

**Наумов Михаил Михайлович**

Доктор ветеринарных наук, профессор кафедры физиологии и химии,

ФГБОУ ВО Курская государственная аграрная академия им. И.И.

Иванова, г. Курск, Россия

e-mail: naumovmm@rambler.ru

**Аннотация.** В данной статье пойдет речь об электрофизиологических исследованиях на головоногих и брюхоногих моллюсках, которые внесли значительный вклад в наше понимание изучения нервной системы. Кальмары и аплизии были особенно важными модельными организмами для этого исследования. Исследования аксона кальмара привели к открытию потенциалзависимых ионных каналов и расширили наше понимание генерации потенциала действия. Аплизия была ценным модельным организмом для изучения обучения и памяти.

**Ключевые слова:** электрофизиология, головоногие, брюхоногие, кальмар, аплизия, нервная система, синаптическая пластичность.

**ELECTROPHYSIOLOGICAL STUDIES ON CEPHALOPOD  
RESEARCHES IN CEPHALOPOD METHODS****Dzhilavkhanov Richard Vadimovich**

Postgraduate Student, Department of Physiology and Chemistry

I.I. Ivanov Kursk State Agrarian University, Kursk, Russia

**Naumov Mikhail Mikhaylovich**

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of Physiology and Chemistry,

I.I. Ivanov Kursk State Agrarian University, Kursk, Russia

e-mail: naumovmm@rambler.ru

**Abstract.** This article discusses electrophysiological studies on cephalopods and gastropods, which have significantly contributed to our understanding of the nervous system. Squid and Aplysia were particularly important model organisms for this research. Studies of the squid axon led to the discovery of voltage-gated ion channels and expanded our understanding of action potential generation. Aplysia has been a valuable model organism for studying learning and memory.

**Keywords:** electrophysiology, cephalopods, gastropods, squid, Aplysia, nervous system, synaptic plasticity.

**ВВЕДЕНИЕ.** Электрофизиология — это фундаментальный метод нейробиологии, который включает измерение электрических сигналов, генерируемых нейронами и другими клетками нервной системы. Эти сигналы могут дать важную информацию о функциональных свойствах нейронов, механизмах синаптической передачи и нейронных основах поведения и познания.

Электрофизиологические исследования сыграли решающую роль в продвижении нашего понимания мозга и его функций. Регистрируя электрическую активность отдельных нейронов или популяций нейронов, исследователи могут изучать основные свойства нейронных цепей, такие как время и амплитуда потенциалов действия, характер синаптических входов и модуляция нейронной активности нейротрансмиттерами и нейромодуляторами [2].

**Цель исследования.** Предоставить обзор по электрофизиологическим исследованиям, проведённым на головоногих и брюхоногих моллюсках, с особым акцентом на кальмаров и аплизии. Также, цель состоит в том, чтобы обобщить основные выводы и приложения этого исследования, а также определить потенциальные области для будущих исследований. Рассматривая существующую литературу, эта статья стремится внести свой вклад в текущие усилия по расширению нашего понимания нервной системы и способов её изучения на этих уникальных организмах.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Как обзорная, данная статья включает в себя всесторонний поиск и анализ соответствующей литературы по электрофизиологическим исследованиям головоногих и брюхоногих моллюсков. Статьи и источники, которые были сочтены релевантными, были проанализированы на предмет их содержания с акцентом на основные результаты и методы исследования.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.** Головоногие и брюхоногие моллюски являются важными модельными организмами для изучения физиологии из-за их уникальных анатомо-физиологических особенностей. Головоногие, такие как осьминоги, кальмары и каракатицы, имеют наиболее высокоразвитую нервную систему среди моллюсков и включают в себя

централизованный мозг и сложные глаза. У них также есть специализированная система кровообращения и способность менять цвет и текстуру кожи для маскировки и общения. С другой стороны, брюхоногие моллюски, такие как улитки, слизни и морские зайцы имеют более простую нервную систему, чем головоногие, но тем не менее являются важными модельными организмами для изучения физиологии. В данной статье мы остановимся на электрофизиологических исследованиях на кальмаре и морском зайце или аплии [4].

Электрофизиологические исследования кальмаров сыграли решающую роль в продвижении нашего понимания нервной системы. У кальмара уникальная и легкодоступная нервная система, что сделало его ценной моделью для изучения нервной функции. Анатомия нервной системы кальмара по сравнению с млекопитающими относительно проста, она состоит из центрального мозга и периферической нервной системы, протянувшейся по всему телу. Периферическая нервная система включает ряд гигантских аксонов, которые используются для быстрой передачи сигналов на большие расстояния. Эти гигантские аксоны были тщательно изучены с помощью электрофизиологии, которая позволила получить важные сведения о механизмах передачи нервных сигналов [1].

Изучение свойств гигантского аксона привели к открытию потенциалзависимых ионных каналов, которые имеют решающее значение для генерации и распространения потенциалов действия. Потенциалзависимые ионные каналы представляют собой класс трансмембранных белков, формирующих ионные каналы, которые активируются изменениями электрического мембранного потенциала вблизи канала. Мембранный потенциал изменяет конформацию белков каналов, регулируя их открытие и закрытие. Клеточные мембраны обычно непроницаемы для ионов, поэтому они должны диффундировать через мембрану через трансмембранные белковые каналы. Они играют решающую роль в возбудимых клетках, таких как нейроны и мышечные ткани, обеспечивая быструю и скоординированную деполяризацию в ответ на инициирующее изменение напряжения. Обнаруженные вдоль аксона и в синапсе потенциалзависимые ионные каналы направляют электрические сигналы. Потенциалзависимые ионные каналы обычно являются ион-специфичными, и были идентифицированы каналы, специфичные для ионов натрия ( $\text{Na}^+$ ), калия ( $\text{K}^+$ ), кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) и хлорида ( $\text{Cl}^-$ ). Открытие и закрытие каналов вызывается изменением концентрации ионов и, следовательно, градиента заряда между сторонами клеточной мембраны [3].

Электрофизиологические исследования на аплии так же внесли значительный вклад в наше понимание нервной системы и таких сложных процессов как обучение и формирование памяти. Анатомия нервной системы аплии включает 9 ганглиев, между которыми распределено порядка 20 000

нейронов. Эксперименты с рефлексом втягивания жабр и сифона были тщательно изучены электрофизиологами, что позволило понять нейронные механизмы, лежащие в основе этого поведения, а также внесли ясности в процессы обучения и памяти. Достигнуто это было использованием трёх типов рефлекторной деятельности: привыкания, сенсibilизации и образования условных рефлексов. Эти исследования показали, что изменения силы синапсов лежат в основе поведенческих изменений.

Применение электрофизиологии аплии в неврологии выходит за рамки изучения обучения и памяти. Исследователи использовали аплию для изучения различных нейронных функций, включая ионные каналы, синаптическую передачу и пластичность нейронов.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Электрофизиологические исследования головоногих и брюхоногих моллюсков позволили получить ценную информацию о работе нервной системы. Эти исследования выявили важную информацию о нейронной передаче сигналов, синаптической передаче и пластичности и расширили наше понимание обучения и памяти. Аксон кальмара был особенно важным объектом электрофизиологических исследований, что привело к открытию потенциалзависимых ионных каналов и их роли в генерации потенциала действия. Точно так же аплия была ценным модельным организмом для изучения обучения и памяти путём того, что исследователи продемонстрировали изменения в силе синапсов, которые лежат в основе модификаций поведения [5].

Глядя в будущее, можно смело заявить, что головоногие и брюхоногие как модельные организмы по-прежнему очень актуальны. Новые технологии и методы позволяют проводить всё новые исследования и изучать нейронную активность с большей точностью и специфичностью. Потенциальные области применения этого исследования весьма разнообразны. Например, выводы, полученные при изучении аксона кальмара, привели к разработке новых лекарств для лечения неврологических заболеваний, таких как эпилепсия. Точно так же исследования аплии выявили механизмы синаптической пластичности, которые можно использовать для лечения таких расстройств, как болезнь Альцгеймера.

Таким образом, электрофизиологические исследования головоногих и брюхоногих значительно расширили наши знания о нервной системе и открывают большие перспективы для улучшения здоровья и благополучия человека. Продолжение исследований в области электрофизиологии раскроет ещё больший потенциал этих существ и их нервной системы.

#### Список литературы

1. Carew, T. J., & Sahley, C. L. (1986). Analysis of associative learning in *Aplysia californica*. *Physiology & behavior*, 37(3), 487-494.

2. Cropper, E. C., Evans, C. G., & Hurwitz, I. (2018). The sea slug, *Aplysia*: a model organism for analysis of the central nervous system. *Current Opinion in Neurobiology*, 50, 121-126.
3. Hodgkin, A. L., & Huxley, A. F. (1952). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *The Journal of physiology*, 117(4), 500-544.
4. Principles of Neural Science - E. Kandel, J. Koester, S. Mack, S. Siegelbaum. (6-th edition. 2000)
5. Williamson, R., & Rabinovich, M. I. (2019). Computational insights into the mechanisms of synaptic plasticity: from basic science to dementia. *Frontiers in systems neuroscience*, 13, 43.

© Джалавханов Р.В., Наумов М.М., 2025