

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОКУСИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ РАЗДРАЖЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ НЕРВНЫХ СТРУКТУР БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ

Л. Р. Гаврилов, В. А. Ковалев, Е. М. Цирульников

Сравнительно недавно была показана возможность применения фокусированного ультразвука для раздражения рецепторных структур человека и животных [1]. Теоретически обсуждалась также возможность раздражения центральных нервных структур [2, 3], однако предпринятые попытки раздражать такие структуры у млекопитающих оказались безуспешными [4]. Между тем реализация указанной возможности привела бы к появлению нового метода раздражения, не требующего непосредственного контакта между воздействующим устройством и нервной структурой и позволяющего обойтись без предварительного оперативного вмешательства при воздействии на глубоко лежащие ткани. Такой метод представляет существенный интерес для практической медицины и физиологических исследований.

В данной работе предпринята попытка раздражения центральных нервных структур беспозвоночных животных с помощью фокусированного ультразвука. В качестве объекта исследований выбрана виноградная улитка, освобожденная от раковины. Регистрировались биоэлектрические ответы от центральных и рецепторных нервных структур улитки при воздействии на них ультразвуковыми стимулами. Достоинствами выбранного объекта являются доступность для визуального наблюдения через микроскоп раздражаемых структур, удобство введения в них отводящих электродов, простота совмещения фокальной области излучателя с раздражаемой структурой, а также возможность осуществления хорошего акустического контакта между фокусирующим излучателем и объектом, поскольку передача ультразвуковой энергии может осуществляться через воду. Удаление раковины улитки позволяет исключить возможные потери акустической энергии и расфокусировку ультразвукового пучка.

Из центральных нервных структур для воздействия ультразвуком был выбран подглоточный ганглий улитки, содержащий нервные клетки диаметром 100–150 мк [5]. Объектом исследования являлся также статоцист, служащий у моллюсков органом равновесия и представляющий собой образование диаметром 150 мк, в стенке которого имеются плоские рецепторные клетки [6]. В опытах создавались условия, когда воздействию подвергались одновременно ганглий и статоцист. Это позволяло сравнивать функциональную активность клеток.

В экспериментах использовался ультразвуковой генератор, нагруженный на фокусирующий излучатель с резонансной частотой 2,25 Мгц. Фокусное расстояние излучателя 70 мм, диаметр фокальной области 1,6 мм, ее длина 10 мм. Максимальная интенсивность ультразвука в центре фокальной области — 2000 вт/см². Воздействие осуществлялось одиночными импульсами ультразвука длительностью 1 мсек.

Опыты проводились как на целой улитке, так и на изолированном препарате (окологлоточном нервном кольце). Объект помещался в ванночку с физиологическим раствором, в дне которой имелось отверстие для прохождения ультразвука, затянутое полиэтиленовой пленкой. Под ванночкой в дистиллированной воде располагался фокусирующий излучатель, его фокальная область проецировалась на ганглий и статоцист аналогично тому, как это описано ранее [7].

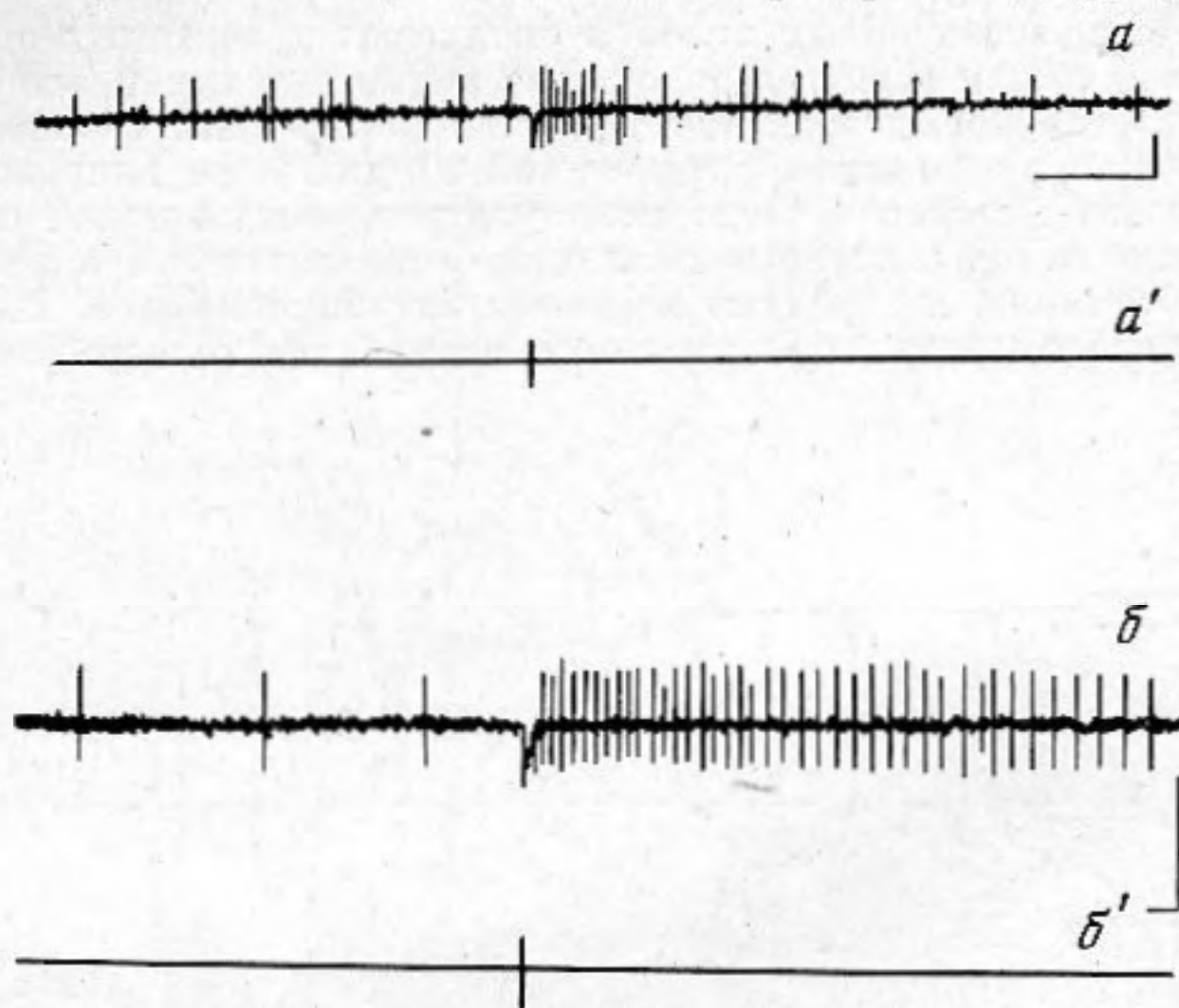
Электрическая активность раздражаемых структур регистрировалась внеклеточно вольфрамовыми электродами с диаметром кончика 5–10 мк. Биоэлектрические потенциалы усиливались, подавались на электронно-лучевой осциллограф и фотографировались.

При расположении электрода на стенке статоциста регистрировалась фоновая импульсная активность рецепторных клеток, которая характеризуется последовательностью биоэлектрических импульсов, возникающих в отсутствие внешнего раздражителя. При постепенном увеличении интенсивности одиночных стимулов фокусированного ультразвука появлялась вызванная импульсная активность, характеризующаяся заметным увеличением частоты следования импульсов по сравнению с фоновой активностью (фигура, а). Интенсивность ультразвука в центре фокальной области излучателя, при достижении которой появлялась вызванная активность рецепторных клеток статоциста, менялась в разных опытах от 90 до 270 вт/см², что соответствует значениям амплитуды колебательного смещения среды [1] от 0,07 до 0,12 мк. При последующем увеличении интенсивности вызванная активность первоначально возрастала, что характеризовалось дальнейшим увеличением числа импульсов, затем (при интенсивности от 700 до 1000 вт/см² и амплитудах смещения соответственно от 0,2 до 0,25 мк) эта активность уменьшалась и исчезала. При расположении электродов в ганглии также регистрировалась фоновая импульсная активность.

Ультразвуковые импульсы указанных выше интенсивностей, вызывающие ответную реакцию клеток статоциста, не оказывали влияния на фоновую активность клеток ганглия. Если же интенсивность стимулов превышала 1000 вт/см², появлялась вызванная импульсная активность клеток ганглия (фигура, б). С последующим

увеличением интенсивности ультразвука активность возрастала и при достижении максимального значения (соответствующего интенсивности 2000 вт/см^2 и амплитуде смещения $0,35 \text{ мк}$) не проявляла тенденции к уменьшению. Как фоновая, так и вызванная активность подавлялась лишь после многократного воздействия импульсами длительностью 10 мсек с максимальной интенсивностью и восстанавливалась в ответ на импульсы длительностью 1 мсек .

Факт получения активности клеток ганглия под действием ультразвуковых стимулов показывает принципиальную возможность раздражения не только рецептор-



Осциллограммы импульсной активности клеток статоциста (а) и ганглия (б) улитки. Справа — калибровка: по горизонтали — 200 мсек , по вертикали — 250 мкв ; а' и б' — синхронно снятые с ними осциллограммы ультразвукового импульса длительностью 1 мсек , частотой $2,25 \text{ Мгц}$, интенсивностью 460 вт/см^2 (а') и 1100 вт/см^2 (б')

ных, но и центральных нервных структур с помощью фокусированного ультразвука и дает основания для активизации аналогичных исследований на позвоночных животных, в том числе млекопитающих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов Л. Р., Гершуни Г. В., Ильинский О. Б., Попова Л. А., Сиротюк М. Г., Цирульников Е. М. Возбуждение периферических нервных структур человека с помощью фокусированного ультразвука. Акуст. ж., 1973, 19, 4, 519–523.
2. Fry W. J. Electrical stimulation of brain localized without probes — theoretical analysis of proposed method. J. Acoust. Soc. America, 1968, 44, 4, 919–931.
3. Цукерман В. А. Локальное воздействие на нейроны живого мозга сходящимися ультразвуковыми или слабыми ударными волнами. Биофизика, 1969, 14, 2, 300–303.
4. Мухаметов Л. М., Петухов В. В., Филин В. А. К вопросу о возбуждающем действии фокусированного ультразвука на нервную ткань. Ж. высшей нервной деятельности, 1974, 24, 3, 653–654.
5. Сахаров Д. А. Генеалогия нейронов. М., «Наука», 1974.
6. Соколов В. А., Камардин Н. Н. Реакция статоциста улитки *Helix vulgaris* на звуковое раздражение. Сб. «Сравнительная нейрофизиология и нейрохимия». 1976, Л., «Наука», 19–23.
7. Гаврилов Л. Р., Цирульников Е. М., Щеканов Е. Е. Реакции слуховых центров среднего мозга лягушки при раздражении лабиринта фокусированным ультразвуком. Физиол. ж., 1975, 61, 2, 213–221.

Акустический институт
Академии наук СССР
Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова
Физиологический институт им. А. А. Ухтомского
Институт эволюционной физиологии и биохимии
им. И. М. Сеченова
Академии наук СССР

Поступила
21 июля 1977 г.