

УДК 597.35 : 612.828 : 591.185

ФИЗИОЛОГИЯ

Г. Р. БРОУН, Ю. Н. АНДРИАНОВ, О. Б. ИЛЬИНСКИЙ

**О СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОРЕЦЕПТОРНОЙ СИСТЕМЫ
ЧЕРНОМОРСКИХ СКАТОВ К ВОСПРИЯТИЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ***(Представлено академиком В. Н. Черниговским 3 I 1974)*

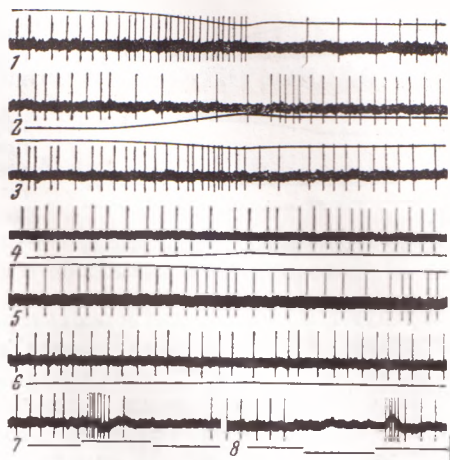
Возможность восприятия позвоночными животными магнитного поля Земли для целей ориентации в течение многих лет обсуждается в литературе (¹⁻⁴). В последние годы появились новые подходы к этой еще не решенной проблеме в связи с открытием в составе боковой линии некоторых рыб электрорецепторных образований (^{5, 6}). Высокая чувствительность последних к электрическому раздражению позволила ряду авторов рассматривать их как возможный аппарат для восприятия изменений магнитного потока при движении животного и предполагать их роль в ориентации животного по магнитному полю Земли (^{7, 8}). Принципиальная возможность магнитного восприятия у животных, обладающих электрорецепторным аппаратом, была продемонстрирована в поведенческих экспериментах (^{6, 9}). Прямых нейрофизиологических исследований, посвященных этому вопросу, до настоящего времени не проводилось.

С целью исследования указанного вопроса нами были проведены эксперименты на черноморских скатах *Trigon pastinaca*, обладающих хорошо развитым электрорецепторным аппаратом ампул Лоренцини (^{9, 10}).

В наших экспериментах с помощью стеклянных микроэлектродов проводилось отведение импульсной активности от одиночных нейронов акустико-латеральной области продолговатого мозга на глубине 1—3 мм от его поверхности. Исследованы реакции 40 нейронов, связанных с электрорецепторной системой (второй нейрон электрорецепторной системы), а также реакции нейронов, у которых этой связи установлено не было. Производилась регистрация ответов нейронов как на электрическое раздражение, так и на изменение магнитного потока через тело рыбы. Электрическое раздражение в виде прямоугольных импульсов тока различной интенсивности и полярности подавалось от специального генератора через изолирующую приставку на пластинчатые серебряные электроды, один из которых располагался на вентральной поверхности в области рострума (место высокой концентрации ампул Лоренцини), а второй — на дорсальной поверхности животного. Интенсивность электрического стимула варьировала от 10^{-7} до 10^{-12} а/мм². Магнитный стимул создавался электромагнитом, через обмотку которого пропускался линейно нарастающий ток заданной величины и скорости нарастания. Такая методика раздражения позволяла получать линейно нарастающее по напряженности магнитное поле. При этом, зная конечную величину магнитной индукции, а также время нарастания поля, можно было в каждом случае определить скорость нарастания магнитной индукции, которая и служила в наших опытах мерой интенсивности магнитного стимула. Эта величина могла варьировать от 0 до 80 гс/сек. Особое внимание было обращено на устранение вибрационных, тепловых и звуковых влияний при включении электромагнита, что обеспечивалось помещением между полюсом электромагнита и животным прокладки толщиной 4 см. Кроме того, плавный характер изменений поля, а также небольшие величины магнитной индукции, применяемые в наших опытах, сами по себе гарантировали отсутствие артефактных воздействий.

Эксперименты показали, что изменение магнитного поля, пронизывающего животное, вызвало реакцию всех 40 нейронов акустико-латеральной области, связанных с электрорецепторной системой ампул Лоренции (рис. 1, 1-6). Эта связь доказывалась реакцией этих же нейронов на электрическое раздражение (рис. 1, 7, 8). Пороговые значения плотности тока составили $10^{-9} - 10^{-10}$ а/мм². Вместе с тем, постоянное магнитное поле, независимо от величины магнитной индукции (максимальное значе-

Рис. 1. Ответы одного из нейронов акустико-латеральной области на магнитные стимулы различной интенсивности и направления и на электрическое раздражение. Интенсивность магнитного стимула: 54 гс/сек (1, 2); 18 гс/сек (3, 4); 9 гс/сек (5, 6). Направление силовых линий: южное (1, 3, 5); северное (2, 4, 6). Реакция на электрический стимул $5 \cdot 10^{-9}$ а/мм²: катодическая стимуляция (7), анодическая стимуляция (8). Отметка магнитного стимула 80 гс/сек. Отметка времени 500 мсек.



ние этой величины составляло 80 гс) не вызывало реакции обследованных нейронов. Реакция на изменение магнитного поля не выявлялась у нейронов, не связанных с электрорецепторной системой (рис. 2). Эти нейроны не обнаруживали также реакции на электрическое раздражение во всем применяемом диапазоне интенсивностей.

Характер ответов нейронов на электрические и магнитные стимулы всегда однозначно зависел от полярности электрического тока и от направления магнитного поля. На рис. 1 представлен наиболее часто встречающийся вариант ответов, при котором приложение к вентрально расположенному электроду катода и южное направление изменяющегося магнитного поля вызвали возбуждение нейрона (on-ответ), которое при выключении электрического стимула или при достижении постоянной величины магнитной индукции сменялось тормозной паузой. Электрический стимул противоположной полярности, а также северное направление магнитного поля вызывало торможение нейрона. Выключение электрического стимула или прекращение изменения магнитного поля в этом случае сопровождалось учащением импульсации (off-ответ), за которым следовало восстановление предшествующей фоновой активности. Реже встречались нейроны с противоположным отношением к полярности тока и к направлению магнитного поля.

Выраженность нейрональных реакций на изменение магнитного поля определялась скоростью изменения поля, т. е. тангенсом угла нарастания магнитной индукции. При этом за пороговое значение магнитного стимула принималась наименьшая скорость нарастания магнитной индукции, которая вызывала изменение импульсной активности нейрона в 5 и более случаях из 10 предъявляемых идентичных раздражений. Наименьшая скорость изменения магнитного поля, которая в наших опытах вызывала реакцию нейронов, оказалась равной 2 гс/сек. Эта величина может быть, по-видимому, снижена при введении методических усовершенствований, направленных на улучшение функционального состояния животного и обеспечение более надежной его фиксации в эксперименте.

При обсуждении полученных данных следует учитывать, что существует литература о непосредственном влиянии сильного магнитного поля на

биологические объекты и, в частности, на нервную систему (¹¹⁻¹⁴). В наших опытах ни в одном случае не была отмечена нейрональная реакция, обусловленная постоянным магнитным полем. Появление реакции только на изменение магнитной индукции, отчетливая связь реагирующих нейрональных элементов с электрорецепторной системой, а также временная структура ответов на электрические и магнитные стимулы позволяют с достаточной степенью вероятности полагать, что описанные нами реакции

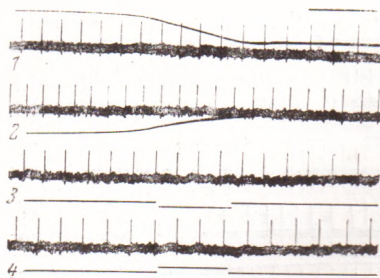


Рис. 2. Отсутствие реакции на электрические и магнитные стимулы у одного из нейронов акустико-латеральной области, не связанного с электрорецепторным аппаратом. 1, 2 — при магнитной стимуляции интенсивностью 80 гс/сек; 3, 4 — при электрической стимуляции интенсивностью $2 \cdot 10^{-7}$ а/мм². Отметка времени 500 мсек. Остальные обозначения те же, что на рис. 1

опосредуются через электрорецепторный аппарат ампул Лоренцини и обусловлены электрическими токами, которые возникают в ампулярных каналах по закону электромагнитной индукции. Такое представление согласуется с описанными нами ранее данными об исчезновении реакции скатов на линейно нарастающее магнитное поле после перерезки нервов, иннервирующих ампулярный аппарат (⁹).

Для того чтобы оценить возможность восприятия магнитного поля Земли с помощью электрорецепторной системы, представляется целесообразным сопоставить чувствительность к изменению магнитного поля с размерами животного и скоростью его возможного движения.

Скорость изменения магнитного потока через животное при его движении в плоскости, перпендикулярной направлению силовых линий магнитного поля Земли, может быть определена формулой

$$d\Phi/dt = Bvl,$$

где B — индукция магнитного поля Земли, v — скорость движения рыбы, l — поперечный размер рыбы. Для ската с поперечным размером 20 см при скорости движения, например, 50 см/сек (реальная скорость животного, по нашим наблюдениям, может быть и больше) и индукции магнитного поля Земли 0,5 гс эта величина составляет 500 мкс/сек. Скорость изменения магнитного потока, которая в наших экспериментах вызывала реакцию центральных нейронов, для ската тех же размеров (площадь 200 см²) составляла $2 \times 200 = 400$ мкс/сек. Полученные данные, таким образом, свидетельствуют о возможности восприятия магнитного поля Земли с помощью электрорецепторного аппарата ампул Лоренцини.

Институт физиологии им. Н. П. Павлова
Академии наук СССР
Ленинград

Поступило
21 IX 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. T. Middendorf, Die Isepiptesen Russlands, St. Petersburg, 1855. ² H. L. Yeagley, J. Appl. Phys., v. 18, 1035 (1947). ³ W. H. Thornton, Proc. Univ. Durham Phil. Soc., v. 8, 301 (1931). ⁴ H. Jones, Fish Migrations, London, 1968. ⁵ H. W. Lissmann, J. Exp. Biol., v. 35, 156 (1958). ⁶ H. W. Lissmann, K. E. Machin, J. Exp. Biol., v. 35, 451 (1958). ⁷ R. W. Murray, J. Exp. Biol., v. 39, 119 (1962). ⁸ M. V. L. Bennett, Ann. N. Y. Acad. Sci., v. 188, 242 (1971). ⁹ Г. Р. Броун, О. Б. Ильинский, Н. К. Волкова, Физиол. журн. СССР, т. 58, 1499 (1972). ¹⁰ G. N. Akoev, O. B. Ilyinsky, Experientia, v. 29, 293 (1973). ¹¹ Ю. А. Холодов, Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему, «Наука», 1966. ¹² С. Н. Лукьянова, В кн.: Структура и функция нервной системы, М., 1965, стр. 65. ¹³ А. Б. Коган, Н. А. Тихонова, Биофизика, т. 10, в. 2, 292 (1965). ¹⁴ O. D. Sittler, In: Proc. III Intern. Biomagn. Symp., Chicago, 1966, p. 34.