

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P19-85-145

В.И.Данилов, В.В.Паршинцев, О.И.Трофимова,
В.В.Туркин*, Н.В.Шванева

ОБ ОБРАТИМОСТИ ВЛИЯНИЯ
МЕНЯЮЩЕГОСЯ ВО ВРЕМЕНИ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ
НА НЕЙРОНЫ МОЛЛЮСКА

Направлено в журнал "Биофизика"

* ВНИИ Биохимашпроект, Москва

1985

В работе^{1/} при исследовании влияния одиночного импульса магнитного поля /МП/ треугольной формы на электрическую активность /ЭА/ нейронов моллюска было показано, что эффективность воздействия зависит от скорости фронта импульса, а не от продолжительности экспозиции нейрона в магнитном поле. Эффективные значения скорости фронта при амплитуде импульса 1 мТ составляли 0,1-10 мТ/с. Зависимость эффекта от скорости изменения магнитного поля позволила предположить, что влияние импульса МП опосредуется за счет вихревого электрического поля /ВЭП/, возникающего при изменении магнитного, причем для реакции нейронов необходима достаточная амплитуда ВЭП.

Параметры импульса в^{1/} выбраны таким образом, что эффективными значениями скорости обладал только один из фронтов импульса, а скорость другого была на один-два порядка меньше. Соответственно этому ВЭП достаточной амплитуды индуцировалось только одним из фронтов импульса. В настоящей работе исследуется влияние на ЭА нейронов моллюска импульсов МП с одинаковыми скоростями обоих фронтов, равными 1 мТ/с, т.е., согласно^{1/}, находящимися в середине диапазона эффективных значений. Такой импульс МП на каждом из его фронтов индуцирует ВЭП одинаковой амплитуды, но с противоположной направленностью силовых линий. Промежуток между фронтами импульса варьировали, что позволило исследовать возможность обратимости и временные характеристики процесса, вызванного ВЭП в нейронах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа проведена на отдельных гигантских нейронах изолированной ЦНС моллюска *Limnaea stagnalis*, как обладавших, так и не обладавших спонтанной активностью. Способ приготовления препаратов и экспериментальное оборудование описаны в^{1/}. Отведение ЭА осуществлялось внутриклеточно стеклянными микроэлектродами. Наблюдение и запись сигналов производили с помощью запоминающего осциллографа С8-11 и перьевого самописца НЗ27-6. Магнитное поле на объекте создавалось с помощью двух катушек Гельмгольца и специально сконструированного генератора тока. Генератор позволял создавать импульсы тока треугольной и трапецеидальной формы с независимо регулируемыми скоростями фронтов. Во всех экспериментах амплитуда импульсов МП составляла 1 мТ. Направление МП совпадало с земным. Неоднородность МП в рабочем объеме 1 см³ не превышала 1%. Эксперименты по воздействию МП начинали

через 30-40 мин после введения микроэлектрода в нейрон, когда устанавливался стационарный уровень ЭА нейрона. Каждый эксперимент проводили на отдельном препарате.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При воздействии одиночным симметричным импульсом МП треугольной формы с одинаковыми скоростями переднего и заднего фронтов, равными 1 мТ/с, на нейроны моллюсков /количество экспериментов n = 19/ изменения ЭА нейронов наблюдались только в двух случаях. Приблизительно через 5 мин после первого воздействия нейроны, не прореагировавшие на первый импульс, были подвергнуты воздействию асимметричного импульса МП треугольной формы с той же скоростью одного из фронтов /переднего или заднего/, а скорость другого фронта была уменьшена до 0,01 мТ/с /т.е., согласно^{1/}, до скорости, находящейся вне диапазона эффективных значений/. При воздействии импульсом МП с такими параметрами практически у всех нейронов, а именно, у 16 из 17, произошло выраженное изменение характера ЭА, причем реакция наблюдалась вне зависимости от того, скорость какого фронта импульса осталась без изменения /рис.1/. Начало изменения ЭА с небольшим латентным периодом /для большинства нейронов составляющим 10-20 с/ совпадало с тем фронтом импульса, скорость которого осталась равной 1 мТ/с.

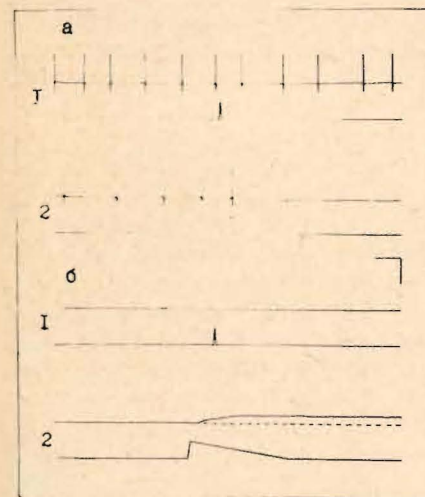


Рис.1. Влияние на электрическую активность нейрона, обладавшего /а/ и не обладавшего /б/ импульсной активностью, симметричного /а1, б1/ и асимметричного /а2, б2/ импульса магнитного поля /МП/. У симметричного импульса МП в "а" и "б" скорости нарастания и спада - 1 мТ/с, у асимметричного скорость нарастания в "а" - 0,01 мТ/с, в "б" - 1 мТ/с, скорость спада в "а" - 1 мТ/с, в "б" - 0,01 мТ/с. На каждом кадре /1,2/ верхняя кривая соответствует записи электрической активности нейрона, нижняя - записи МП. Пунктирная линия на кадре б2 соответствует уровню мембранного потенциала до воздействия МП. Калибровка: горизонтальный отрезок соответствует 30 с, вертикальный: для "а" - 70 мВ, для "б" - 60 мВ.

уровню мембранного потенциала до воздействия МП. Калибровка: горизонтальный отрезок соответствует 30 с, вертикальный: для "а" - 70 мВ, для "б" - 60 мВ.

Наличие реакции нейронов как на передний, так и на задний фронты асимметричного импульса в этих экспериментах позволяет предполагать, что и передний, и задний фронты симметричного импульса способны вызвать реакцию нейронов. В таком случае ее отсутствие в ответ на симметричный импульс, очевидно, объясняется тем, что влияние переднего фронта импульса "стирается" под влиянием заднего, т.е. процесс, вызванный меняющимся МП, является обратимым. Так как направление ВЭП, индуцированного задним фронтом импульса, противоположно направлению ВЭП, индуцированного передним фронтом, то естественно связать феномен обратимости именно с ВЭП.

С целью определения длительности периода, в течение которого процесс, вызванный воздействием ВЭП, обратим, в июле-августе 1982 г. были проведены эксперименты ($n = 23$) в которых нейроны, кроме воздействия треугольного симметричного импульса МП, подвергались воздействию нескольких импульсов МП трапецеидальной формы с различной длительностью "плато", т.е. с различным промежутком времени между фронтами импульса. Длительность "плато" импульса увеличивалась соответственно порядковому номеру импульса и составляла 1, 5, 10, 15 с. Скорости переднего и заднего фронтов трапецеидальных импульсов равны между собой и были такими же, как у фронтов треугольного симметричного импульса /т.е. равными 1 мТ/с/. Интервал между импульсами составлял 5 мин. В этих экспериментах воздействие импульса МП с нулевой длительностью "плато" /импульс треугольной формы/, вызвало изменение ЭА у одного нейрона из двадцати трех. На воздействие трапецеидального импульса МП с длительностью "плато" 1 с изменение ЭА произошло также у одного нейрона, с длительностью "плато" 5 с - у восьми, а с длительностью "плато" 10 с - у одиннадцати нейронов. В двух нейронах этой серии экспериментов изменений ЭА не удалось вызвать импульсами МП всех исследованных параметров. На рис.2 представлен пример эксперимента, в котором реакция нейрона была вызвана импульсом с длительностью "плато" 1 с.

Увеличение числа прореагировавших нейронов с увеличением порядкового номера импульса, наблюдаемое в этих экспериментах, может быть связано с двумя причинами, а именно: 1/ с эффектом накопления отдельных малых воздействий, каждое из которых само по себе не способно вызвать реакции нейрона /такой эффект был обнаружен при воздействии серии асимметричных импульсов МП с амплитудой меньше пороговой^{1/2}/, но не исключена возможность, что для импульсов симметричной формы имеет место аналогичное явление;/ 2/ с большей эффективностью импульсов, имеющих больший промежуток времени между фронтами.

С целью определения вклада эффекта накопления в наблюдаемую выше зависимость были проведены эксперименты ($n = 41$), в которых нейроны последовательно подвергались воздействию трех одинаковых треугольных симметричных импульсов МП со скоростью фронтов 1 мТ/с. Кроме того, эти же нейроны были подвергнуты воздействию

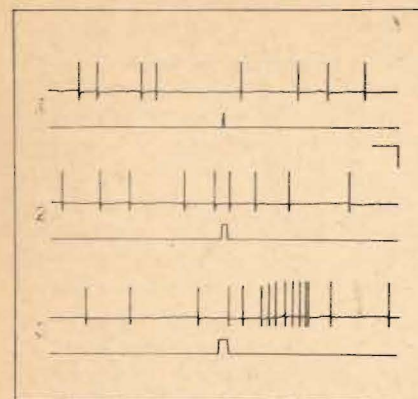


Рис.2. Влияние на электрическую активность нейрона импульсов магнитного поля трапецеидальной формы с различным интервалом времени между фронтами. Интервал между фронтами импульса на кадре 1 - 0 с, на кадре 2 - 5 с, на кадре 3 - 10 с. Влияние импульса с интервалом между фронтами - 1 с на рисунке не приведено. Скорость нарастания и спада импульсов - 1 мТ/с. Калибровка: горизонтальный отрезок соответствует 30 с, вертикальный - 60 мВ.

четвертого импульса МП трапецеидальной формы с длительностью "плато" 10 с и скоростями фронтов такими же, как у треугольных импульсов, с целью сравнения его эффективности с предшествующими треугольными импульсами. Интервал между воздействиями импульсов МП, так же как и в предшествующих экспериментах, составлял 5 мин.

Эксперименты этой серии проводились в июле-августе 1984 г. У нейронов этой группы отмечалась более низкая чувствительность к воздействию импульсов МП по сравнению с нейронами в экспериментах 1982 г. Так, из 41 исследованного нейрона только у 27 наблюдалось изменение ЭА при воздействии каким-либо импульсом МП. Другим отличием нейронов этой группы было большое количество случаев реакции на первый импульс МП треугольной формы, а именно у 14 из тех 27, в которых наблюдали изменение ЭА, тогда как в 42 экспериментах 1982 г. таких случаев было зарегистрировано всего 3.

Реакции остальных 13 нейронов распределялись следующим образом: в ответ на второй и третий треугольные симметричные импульсы МП изменения ЭА произошли соответственно у 3 и 2 нейронов, а на четвертый импульс трапецеидальной формы изменения ЭА наблюдались у 8 нейронов.

Отсутствие увеличения числа прореагировавших нейронов на второй и третий треугольные симметричные импульсы МП в сравнении с первым свидетельствует, что в данных экспериментах эффект накопления, по-видимому, не играл существенной роли. Это дает основание полагать, что и в предшествующей серии экспериментов увеличение эффективности воздействия импульса с увеличением его порядкового номера было связано не с эффектом накопления, а с увеличением промежутка времени между его фронтами. В данных экспериментах в пользу этого же свидетельствует большая эффективность трапецеидального импульса в сравнении с двумя предшествующими импульсами треугольной формы.

Таким образом, совокупность проведенных экспериментов свидетельствует о том, что процесс, вызванный в нейронах ВЭП, является обратимым в течение периода времени, меньшего 10 с. Учитывая, что латентный период, предшествующий изменению ЭА нейронов, в наших экспериментах превышал 10 с, по-видимому, целесообразно в реакции нейрона на ВЭП выделить отдельную обратимую стадию, непосредственно связанную с "рецепцией" ВЭП, которая, в свою очередь, "запускает" процесс, ответственный за наблюдаемые изменения ЭА нейрона.

Вариация чувствительности нейронов к первому треугольному симметричному импульсу МП в период наших исследований, по-видимому, связана с соответствующим изменением длительности обратимой стадии реакции. В настоящее время трудно указать причину этого изменения; возможно, однако, что изучение факторов, способных модифицировать длительность обратимого периода и порог чувствительности нейронов к ВЭП, поможет ответить на этот вопрос.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В.И.Корогодину за полезное обсуждение и ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов В.И., Паршинцев В.В., Туркин В.В. Биофизика, 1984, т.29, №1, с.109.
2. Данилов В.И., Паршинцев В.В., Туркин В.В. Биофизика, 1984, т.29, №2, с.320.

27 февраля 1985 года.

Данилов В.И. и др.

P19-85-145

Об обратимости влияния меняющегося во времени магнитного поля на нейроны моллюска

Исследована возможность обратимости процесса, вызванного в нейронах моллюска вихревым электрическим полем /ВЭП/, индуцированным меняющимся со временем магнитным полем /МП/. С этой целью нейроны подвергались воздействию симметричных импульсов МП трапециевидальной формы амплитудой 10 мТ. Установлено, что как передний, так и задний фронты импульса МП в отдельности способны вызвать изменение электрической активности /ЭА/ клеток. Тем не менее, импульсы МП с небольшим интервалом между фронтами оказались малоэффективными. Это свидетельствует о том, что для таких импульсов воздействие ВЭП, индуцированного передним фронтом, "стирается" под воздействием ВЭП, индуцированного задним. Эффективность влияния импульсов МП увеличивалась с увеличением расстояния между фронтами и достигала максимума при интервале 10 с. Предполагается существование отдельной, обратимой стадии реакции, предшествующей наблюдаемым изменениям ЭА.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Danilov V.I. et al.

P19-85-145

About the Reversibility of Influence of Changing in Time Magnetic Field on Mollusc Neurons

The possibility of reversibility of the process excited in mollusc neurons by rotational electric field (REF) induced by changing in time magnetic field was studied. For this purpose neurons were affected by symmetrical impulses of trapezoidal shape with 10 Oe amplitude. It has been found that both leading and trailing edges of MF impulse separately were able to change electrical activity (EA) of cells. Nevertheless, the impulses with a short time between edges were found to be of small effectivity. It proved that the influence of REF induced by the leading edge of pulse was abolished by the influence of REF induced by trailing edge. The effectivity of MF impulse influence increased with increasing interval between their edges and ran to maximum at the 10 s time interval. The existence of individual reversible reaction step preceding the observed changes of EA is supposed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985