

П. Е. МОЦНЫИ

**АККОМОДАЦИЯ В ДВИГАТЕЛЬНОМ НЕРВЕ ПРИ РАЗДРАЖЕНИИ
ЕГО ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНО ВОЗРАСТАЮЩИМИ ТОКАМИ
КРАТКОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ**

(Представлено академиком А. Д. Сперанским 19 VIII 1954)

Описанный впервые Б. Ф. Вериго ⁽¹⁾ факт повышения порога возбудимости на катоде лежит в основе современных представлений об аккомодации в нерве. Значение процесса аккомодации в деятельности нервной системы подчеркивалось рядом авторов ⁽²⁻⁷⁾. Большинство опытов, посвященных изучению аккомодации, было произведено на высоколабильных нервных проводниках, обладающих высокой скоростью аккомодации, причем в качестве раздражителей применялись постепенно нарастающие токи неограниченной длительности с относительно малым градиентом нарастания. Эти наблюдения еще не дают права сделать заключение о возможности проявления аккомодации в периферических нервах в условиях естественной их деятельности, так как токи действия нерва хотя и могут быть отнесены по своей физической характеристике к раздражителям с постепенным нарастанием, но в то же время они характеризуются относительно краткой длительностью.

Как показывают хорошо известные факты, повышение порога под влиянием текущего раздражения, т. е. аккомодация, обнаруживается только при достаточной длительности действия раздражителя. В наших опытах форма и длительность раздражающего тока приближались к форме и длительности восходящей части тока действия нерва.

Седалищный нерв лягушки, при соблюдении всех необходимых условий, раздражался экспоненциально возрастающим током, мгновенно обрывающимся по истечении заданного времени. Сила тока в цепи измерялась микроамперметром, сопротивление — мостиком Уитстона. Сила тока, достигаемая к моменту обрыва, рассчитывалась по формуле:

$$I_t = I(1 - e^{-t/RC}),$$

где I_t — сила тока по истечении времени t , I — конечное значение тока, e — основание натуральных логарифмов, RC — временная константа возрастания тока. Пороговое количество электричества толчков экспоненциально возрастающего тока (Q_{at}) вычислялось из уравнения:

$$Q_{at} = I[t - RC(1 - e^{-t/RC})].$$

Для устранения «размыкательного» возбуждения анод раздражающего тока располагался на умерщвленном проксимальном участке нерва. Отсутствие «размыкательного» возбуждения проверялось в конце каждого опыта, и в случае его обнаружения опыт в расчет не принимался.

Применяя в качестве раздражителей экспоненциально возрастающие токи различной длительности, мы исследовали отношения между пороговой силой, достигаемой к концу импульса, и его продолжительностью

при неизменной для данного опыта временной константе возрастания тока. Как и следовало ожидать, исходя из теоретических соображений, полученная кривая, выражающая отношение между пороговой силой толчка экспоненциально возрастающего тока и его длительностью, резко отличается по своей форме от обычной канонической кривой, выражающей те же отношения для толчков тока с мгновенным возрастанием. Как видно из рис. 1, по мере увеличения длительности тока падение пороговой силы сменяется при определенных значениях повышением ее. Характерной особенностью рассматриваемой кривой I_{at} является при-

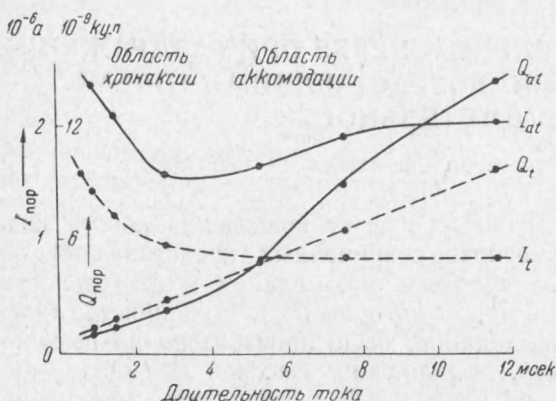


Рис. 1. Кривые силы тока (I_t , I_{at}) и количества электричества (Q_t , Q_{at}) в зависимости от длительности тока. I_t , Q_t — для толчков прямоугольного тока; I_{at} , Q_{at} — для толчков экспоненциально возрастающего тока. $RC = 5$ мсек.

следствием укорочения длительности стимула, а повышение вправо от той же точки обусловлено вмешательством аккомодации.

Положение точки минимума пороговой силы важно в том отношении, что оно указывает на границы распространения аккомодации. Однако необходимо иметь в виду, что область хронаксии и область аккомодации могут переслаиваться, вследствие чего значения пороговой силы тока в области точки минимума являются, по существу, результирующими двух противоположных тенденций — тенденции к снижению вследствие убывания влияния аккомодации и тенденции к повышению вследствие убывания длительности стимула. Следовательно, необходимо учитывать, что в действительности влияние аккомодации может распространяться несколько дальше в сторону укорачивающихся длительностей по сравнению с тем, что дает положение точки минимума.

Пороговое количество электричества толчков экспоненциально возрастающего тока убывает по мере укорочения стимула. Зависимость, представляющая количество электричества как функцию длительности тока, выражается кривой, имеющей форму растянутой буквы S (рис. 1), и только на небольшом протяжении, влево от точки, соответствующей минимуму пороговой силы, она оказывается прямой линией. Наблюдаемая кривая имеет явно выраженный изгиб, совпадающий с положением точки минимума пороговой силы тока. Совершенно ясно, что своеобразный ход кривой вправо от точки изгиба является следствием аккомодации.

Существование оптимума длительности стимула может быть наглядно проиллюстрировано данными, полученными в условиях миографической регистрации. Установив в одном из опытов, что оптимальная длительность толчка экспоненциально возрастающего тока равна 2,8 мсек., мы провели дальнейшие наблюдения в следующем порядке. Была подо-

существо на ней отчетливо выраженного минимума пороговой силы тока, который по данным наших опытов для изолированных нервов осенних и зимних лягушек расположен в довольно ограниченной области от 1,5 до 3 мсек. Полученная кривая очень похожа на кривую, представляющую отношение между пороговым напряжением тока и частотой в случае раздражения нерва переменным током синусоидальной формы. Это сходство не случайно, так как оно обусловлено тождественностью факторов, определяющих характер упомянутых кривых. Повышение кривой влево от точки минимума является

брана такая сила тока, которая при длительности толчка, равной 2,8 мсек., и временной константе возрастания тока (RC) 6 мсек. давала сокращение мышцы чуть меньше максимального; затем нерв раздражался последовательно толчками экспоненциально нарастающего тока длительностью, близкой к оптимуму (4,0—3,6—3,2—2,8—2,4—2,0 мсек.). Сила тока рассчитывалась таким образом, что к концу толчка ток в рассматриваемом случае достигал при всех длительностях значения $2,8 \cdot 10^{-6}$ а. Таким образом, раздражающие импульсы обладали равной силой, одинаковой константой возрастания тока и различной длительностью. Сокращения мышцы регистрировались на барабане кимографа. Как видно из представленной миограммы (рис. 2), по мере убывания длительности экспоненциально возрастающего тока высота мышечных сокращений сначала возрастает, а затем, достигнув максимальной величины, идет на убыль. Максимальное мышечное сокращение наблюдается при оптимальной длительности тока (2,8 мсек.).

На основании приведенных экспериментальных данных можно заключить, что длительность токов действия в нервах лягушки приближается к оптимальной. Следовательно, в норме аккомодация не создает препятствий для распространяющегося импульса. Однако необходимо иметь в виду, что положение может измениться при всяких влияниях, увеличивающих скорость аккомодации или уменьшающих скорость нарастания токов действия. Изменение скорости аккомодации неизбежно должно повлечь за собой смещение точки оптимума длительности стимула, а следовательно,

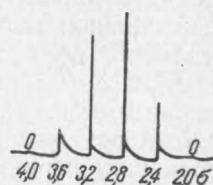


Рис. 2. Миограмма, иллюстрирующая изменения сокращений мышцы при раздражении нерва толчками экспоненциально возрастающего тока равной силы и убывающей длительности

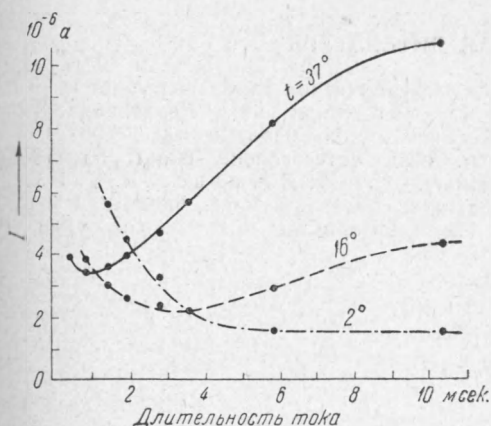


Рис. 3. Кривые сила тока — длительность для толчков экспоненциально возрастающего тока при 2, 16 и 37°. Временная константа возрастания тока $RC = 5$ мсек.

и границы аккомодации. Эти изменения отчетливо проявляются при исследовании температурных влияний на нерв. Из рис. 3 видно, что повышение температуры до 37° резко смещает границу аккомодации в сторону более кратких длительностей (с 2,8 до 0,84 мсек.). Как показали проведенные изменения, временная константа аккомодации λ уменьшилась с 4 мсек. при 16° до 1,4 мсек. при 37°, следовательно, скорость аккомодации увеличилась. Однако, кроме увеличения скорости аккомодации в качестве фактора, обуславливающего смещения точки оптимума, необходимо также учитывать и изменения хронаксии нерва. Конечно, при повышении температуры

наряду с увеличением скорости аккомодации происходит и уменьшение длительности, а следовательно, и увеличение крутизны нарастания токов действия, однако такое сочетание является специфической особенностью избранного альтерирующего агента. Следует учитывать, что при применении парабитических агентов, вызывающих снижение функциональной лабильности ткани, а следовательно, и замедление развития волн возбуждения, увеличение скорости аккомодации, характерное для парабитического состояния, может оказаться роковым для распространяющегося импульса.

При локальном охлаждении нерва до 2° наряду с резким замедлени-

ем аккомодации (λ увеличивалась до 24 мсек.) наблюдается существенное изменение характера кривой сила — длительность, которая при данном значении RC приближается по форме к кривым, наблюдаемым при раздражении нерва толчками мгновенно нарастающего тока.

Приведенные в настоящем сообщении данные позволяют несколько дополнить характеристику токов действия как естественных раздражителей нервной ткани. То, что длительность токов действия близка к оптимальной, не является случайностью. Между интенсивностью, длительностью и формой токов действия, с одной стороны, и основными функциональными характеристиками нервной ткани, с другой, исторически сложилось тонко отрегулированное соответствие. Дееспособный в одних условиях, нервный импульс легко может утратить раздражающее действие при удлинении хронаксии или увеличении скорости аккомодации воспринимающего участка нервной ткани.

Необходимо отметить, что в настоящем исследовании только в принципе решался вопрос о возможности влияния аккомодации на процессы, протекающие в нервной системе. В условиях нормальной деятельности едва ли в периферических нервных волокнах происходят настолько значительные изменения скорости аккомодации, чтобы они могли отразиться на судьбе распространяющегося импульса. Очевидно, эти изменения играют более важную роль в центральной нервной системе с ее сложными межцентральными отношениями, где не исключена возможность блокирования нервных импульсов на подступах к воспринимающим нервным клеткам, или же при распространении их через синаптические образования.

Днепропетровский государственный
университет

Поступило
21 V 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Б. Ф. Вериге, О действии на нерв гальванических токов прерывистых и непрерывных, Диссертация, 1888. ² Д. Г. Квасов, Збірн. пам. Леонтовича, Київ, 1948, стр. 238. ³ А. Н. Магницкий, Бюлл. эксп. биол. и мед., 5, 5—6, 466 (1938). ⁴ Е. К. Жуков, Тр. Ленингр. общ. естествоисп., 68, 1, 53 (1940). ⁵ Л. В. Латманисова, Вестн. ЛГУ, 6 (1947). ⁶ Л. Л. Васильев, Е. Т. Гальвас, Л. В. Латманисова, Докл. 7 всесоюзн. съезда физиол., биохим. и фарм., М., 1947, стр. 35. ⁷ П. Г. Костюк, Тр. Инст. физиол. жив. Киевск. гос. унив., 5, 93 (1949).