Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 4

БИОФИЗИКА

Л. П. КАЮШИН и Р. Г. ЛЮДКОВСКАЯ

УПРУГИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В НЕРВЕ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

(Представлено академиком В. А. Энгельгардтом 7 II 1955)

В работе ([1]) показано, что процесс проведения одиночного нервного импульса сопровождается быстрыми упруго-объемными изменениями нерва. В настоящей работе прослежена связь этих изменений с токами действия нерва и выяснен характер развития быстрых колебаний поверхности нерва во времени. Упругие явления в седалищном нерве лягушки изучались при помощи микроинтерферометра. Рассматривая поверхность нерва в интерференционный микроскоп, можно наблюдать четкую картину интерференции света, отраженного от нерва. О колебаниях поверхности нерва мы судили по сдвигу интерференционных полос.

Экспериментальная установка была создана для одновременной регистрации токов действия нерва и интерференционной картины поверхности нерва. Она состояла из интерференционного микроскопа МИИ-5, экранированной камеры для нерва, двухлучевого катодного осциллографа с усилителем токов действия, фотокамеры с лентопротяжным механизмом и генератора прямоугольных импульсов для раздражения нерва. Токи действия нерва через усилитель подавались на один из лучей 2-лучевого катодного осциллографа; второй луч служил для отметки времени и на нем отмечались также начало и конец раздражающего импульса. Лучи с экрана осциллографа проектировались при помощи оптической системы на половину щели фотокамеры; одновременно на вторую половину щели проектировались интерференционные полосы. Горизонтальная развертка по времени происходила на движущейся кинопленке. Наблюдаемый участок нерва находился на расстоянии 25—30 мм от раздражающих электродов.

На рис. 1 представлена осциллограмма, полученная при одиночном раздражении нерва при скорости развертки 40 см/сек. Нижняя синусоидальная кривая представляет отметку времени с периодом 0,02 сек.; на ней в виде двух вертикальных линий отмечены начало и конец раздражающего импульса. На средней кривой зарегистрировано изменение биопотенциала нерва — быстрое колебание потенциала («спайк») и более растянутый во времени низковольтный следовой потенциал. В верхней части осциллограммы представлены изменения интерференционной картины в виде ряда горизонтальных полос. При раздражении наблюдается смещение полос с последующим восстановлением.

Смещение поверхности нерва начинается еще в период развития спайка через 2—5 мсек. после его начала. Сдвиг полос постепенно достигает максимума. Длительность восходящей фазы составляет величину порядка 20—30 мсек. при максимальной амплитуде смещения на одну полосу, что соответствует 0,27 μ. Скорость колебания поверхности нерва в первой фазе составляет 13,5 μ/сек. Достигнув максимума, смещение удерживается некоторое время на этом уровне, после чего начинается

нисходящая фаза, идущая со скоростью порядка 5—10 μ/сек. Восходящая фаза упругого смещения нерва совпадает по длительности с фазой отрицательного низковольтного потенциала. Плато и нисходящая фаза интерференционной кривой соответствуют положительной низковольтной фазе. Весь процесс изменения поверхности нерва при одиночном раздражении длится 0,10—0,15 сек.

На рис. 2 представлены ритмические смещения поверхности нерва, зарегистрированные одновременно с токами действия при частоте раздражения 3 гц. Скорость развертки в данном случае меньше, чем на рис. 1, и равна 5 см/сек.

При двух импульсах, следующих друг за другом с интервалом меньше 0,1 сек., второе колебание поверхности нерва будет накладываться на первое. Поэтому при ритмических раздражениях с частотой свыше 10—15 гц одиночные колебания поверхности нерва не выражены и суммируются друг с другом, образуя плавную кривую. Это отчетливо видно из фотографии, приведенной на рис. 3, на которой общее смещение поверхности нерва при раздражении с частотой 36 гц больше, чем при одиночном раздражении.

В проведенных опытах также прослежена зависимость амплитуды и длительности эффекта от силы раздражения. Пороговая сила раздражающего тока вызывала одновременно появление сдвига поверхности нерва и тока действия. При переходе от пороговых раздражений к надпороговым амплитуда смещения поверхности нерва несколько возрастала, однако при дальнейшем усилении раздражения она больше не изменялась. Относительно небольшая зависимость амплитуды смещения от силы раздражения связана, повидимому, с различием порогового раздражения отдельных нервных волокон, составляющих общий ствол седалищного нерва.

Исследовалась также величина упругих колебаний нерва при различной длительности раздражающего импульса. При изменении длительности импульса в пределах от 0,001 до 0,3 сек. амплитуда смещения поверхности остается постоянной. При более длительных импульсах величина эффекта резко уменьшается. Упругие изменения, обнаруживаемые нами по сдвигу поверхности нерва, непосредственно связаны с изменениями молекулярно-мицеллярной структуры нерва. Совпадение по времени упругого смещения нерва со следовым низковольтным потенциалом указывает на связь упругих явлений с процессами обмена веществ при возбуждении. Следует вспомнить, что теплообразование в нерве начинается или во время прохождения одиночного импульса или непосредственно после него. Таким образом, упругие изменения нерва развиваются параллельно следовому потенциалу и первой фазе теплообразования.

Быстрые химические превращения, совершающиеся в нерве при возникновении и проведении возбуждения, находят свое структурное выражение в упругих изменениях нерва. Это открывает путь для исследования таких превращений.

Институт биологической физики
Академии наук СССР

Поступило
13 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Л. П. Каюшин, Р. Г. Людковская, ДАН, 95, № 2, 253 (1954).

К статье Л. П. Каюшина и Р. Г. Людковской, стр. 727

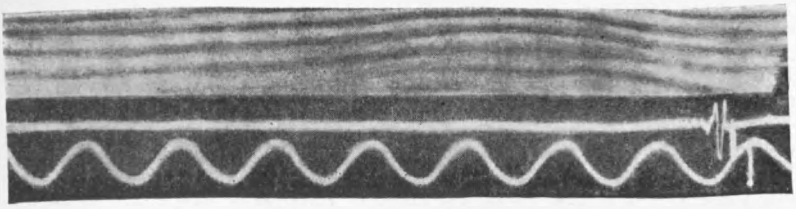


Рис. 1

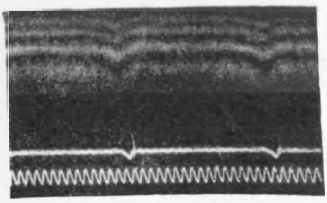


Рис. 2

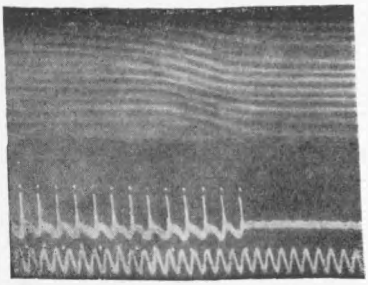


Рис. 3

К статье А. М. Вовк и Г. С. Никифоровой, стр. 839

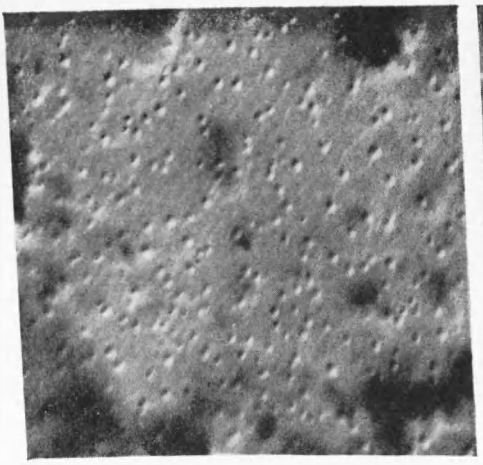


Рис. 1

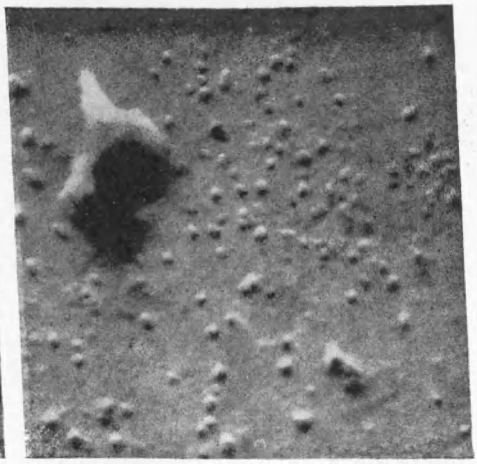


Рис. 2

Рис. 1. Электронные микрофотографии сферических частиц вируса столбура из вьюнка (7000×4)

Рис. 2. Электронная микрофотография частиц вируса столбура из томата, фиксированного спиртом (7000×4)