

Е. В. КОРНАКОВА и Г. М. ФРАНК

**ОБ ИЗМЕНЕНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕРВА
ПРИ ЕГО РАЗДРАЖЕНИИ***(Представлено академиком А. И. Опариным 20 IX 1952)*

В нашем предыдущем исследовании ⁽¹⁾ с помощью методики непрерывной регистрации вязкостных свойств был обнаружен феномен изменения вязкости нерва в процессе его жизнедеятельности. Отмечалось, что если в изучении природы материальных процессов, лежащих в основе проведения возбуждения по нервным проводникам, уделяется значительное внимание биохимической и электрической стороне явлений, то изменения структуры и механических свойств нерва практически не исследовались. Об этом можно было судить косвенно по изменению, например, сорбционных свойств по отношению к некоторым витальным красителям ⁽²⁾ или скорости течения акоплазмы из перерезанного конца гигантского одиночного волокна ⁽³⁾.

Нами было установлено, что вязкостные свойства меняются при различных внешних воздействиях, а также при изменении или потере возбудимости. Вслед за электрическим раздражением имеет место также закономерное изменение вязкости нерва.

Применявшаяся нами методика позволяла следить лишь за медленно развивающимися процессами. В частности, при электрических раздражениях можно было наблюдать эффекты, которые следовало скорее отнести к явлениям последействия. Тем не менее, обнаруженный нами новый феномен свидетельствовал о том, что «структурные процессы» в самом субстрате нерва и, как внешнее выражение последних, изменение его вязкостных свойств играют не малую роль в жизнедеятельности и непосредственно связаны с изменением его функционального состояния. Однако наряду с отчетливо регистрируемыми медленными изменениями механических свойств в некоторых опытах была отмечена тенденция к этим изменениям уже в самый момент раздражения, наносимого в виде серии электрических импульсов в течение нескольких секунд. В одних случаях это было начинающееся во время раздражения изменение вязкости, как правило, обратное эффекту, развивающемуся после прекращения раздражения. В других было отмечено совершенно иное явление — быстро наступающее боковое смещение регистрируемых кривых, указывающее на подобие самопроизвольного аксиального закручивания нерва в момент нанесения раздражения.

Возникло предположение, что это боковое смещение наблюдалось в тех случаях, когда препарат был недостаточно точно помещен в прибор для измерения вязкости, причем было допущено небольшое начальное закручивание нерва. Была сделана попытка воспроизвести это явление в более отчетливой форме и создать из препарата изолированного нерва и ленточки фосфористой бронзы устойчивую, однако в то же время легкоподвижную, систему типа шлейфа. Отпрепарованный нервномышечный препарат лягушки (икроножная мышца с седалищным нервом) помещался в специальный станочек таким образом, что свободному кон-

цу нерва при соединении его с концом бронзовой ленточки задавалось значительное начальное закручивание. Сочленение нерва с бронзовой ленточкой, описанное уже в нашей первой работе (1), производилось при помощи легкого зажимчика минимально травмирующего нерв, о чем можно было судить по отсутствию реакции со стороны мышцы. Система устанавливалась в некотором равновесии в соответствии с соотношением механических свойств нерва и бронзовой ленточки. Ничтожное изменение этого равновесия повело бы к повороту системы, о чем можно судить оптически путем благодаря зеркальцу, установленному в месте сочленения нерва и ленточки. Это давало возможность вести непрерывную запись смещений с помощью фотокимографа.



Рис. 1

Варьируя и подбирая размер поперечного сечения и длину бронзовой ленточки, длину свободного отрезка нерва, степень натяжения нерва и температуру, при которой проводится опыт, нам удалось создать условия, при которых устойчиво воспроизводится «эффект поворота» при нанесении электрического раздражения. Этот эффект указывает на наличие структурных перестроек в нерве, выражающихся в изменении его механических свойств. Так как, в связи с самим принципом измерения на подвижной системе, подключение дополнительных электродов к нерву было невозможно, то в большей части экспериментов раздражение производилось через бронзовую ленточку в качестве одного из электродов. Это вызвало необходимость постановки серии контролей с нервом убитым, потерявшим возбудимость при переживании, а также с закрученными и смоченными нитками вместо нерва. Ни в одном из этих случаев не наблюдалось никаких эффектов смещения подвижной системы.

На рис. 1 приведена типичная кривая опыта с живым нервом. В момент начала нанесения раздражения серией электрических импульсов, в течение 15 сек. наступает резкое смещение, регистрируемое в виде острого выброса кривой. Вслед за выбросом устанавливается отклонение, длящееся все время раздражения и впоследствии относительно скоро сглаживающееся. Как следует из сказанного выше, этот эффект связан с нарушением соотношения механических свойств системы нерв — бронзовая ленточка и наступающего при этом вращательного движения. Принимая во внимание расстояние от препарата до камеры, угловое смещение луча в данном случае соответствует $1,2^\circ$, а следовательно поворот всей системы всего $0,6^\circ$.

При более внимательном рассмотрении механических смещений нерва при его раздражении обнаружилась интересная зависимость этих эффектов от силы раздражения. Характерным в этом отношении является кривая рис. 2, где при последовательном увеличении силы раздражения, начиная от порогового, имеет место изменение не только величины ответа, но и самой формы ответного смещения. Приведенная кривая получена в опыте, где начальное закручивание было несколько меньше, чем в опыте, приведенном на кривой рис. 1. Прежде всего обращает на себя внимание, что имеется своего рода оптимум силы раздражения, после которого абсолютная величина эффекта не только не устанавливается на максимальном уровне, но даже начинает падать. Что касается формы ответного смещения, то если вначале имеет место увеличение амплитуды зубца, то в дальнейшем следующая за зубцом часть в виде устойчивого отклонения становится все более выраженной, и, наконец, зубец исчезает полностью. Таким образом, приходится считаться с тем фактом, что изменение силы раздражения меняет не только величину от-

ветного склонения, но и форму кривой этого отклонения. Самый характер материальных процессов в нервном проводнике, очевидно, становится качественно иным при изменении силы раздражения. Вероятна также суммация изменений, вносимых последовательной серией электрических импульсов, причем эта суммация в большей мере проявляется при увеличении силы раздражения, снижая и одновременно «уплощая» реакцию

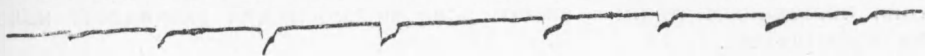


Рис. 2

смещения. Как результат суммации следует рассматривать и исчезновение начального быстрого отклонения в момент начала раздражения.

Постепенное снятие эффекта при увеличении силы раздражения может быть еще более отчетливо продемонстрировано в условиях большего загробления системы при минимальном начальном закручивании нерва

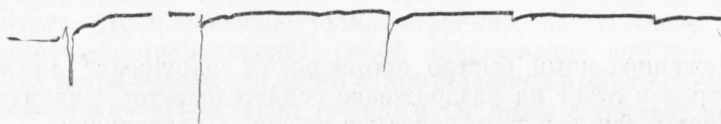


Рис. 3

(рис. 3). Необходимо подчеркнуть, что речь идет не о нарушении проводимости (так как сила мышечных сокращений не ослабевает, а лишь о том, что внешнее выражение явлений, происходящих в нервном проводнике в виде механической реакции смещения, снимается, возможно, как результат наложения интермедирующих, противоположно направленных структурных процессов.

На рис. 4 приведена кривая, где характер механического смещения несколько отличается от вышеприведенных. Такая форма пологоступенчатого смещения возникает в некоторых условиях обычного эксперимента при тетаническом раздражении, в частности при работе с изолированным нервом, т. е. при полном отделении от мышцы. Однако она особенно типична для раздражения постоянным током, что имело место и в приводимом эксперименте. Включение постоянного напряжения приводит к медленно прогрессирующему смещению, продолжающемуся все время прохождения тока, прекращающемуся после его выключения, с постоянным (иногда не полным) возвращением к исходному состоянию. Такая форма кривой, естественно, вызвала подозрение в возникновении этих смещений за счет тепловых эффектов при прямом прохождении

тока. Однако измерение показало, что в данных условиях поглощаемая мощность явно недостаточна для этого. При наложении разности потенциалов 20 в сила тока составляла от 15 до 25 μ а, что при продолжительности его включения на 15 сек. должно обусловить нагрев нерва не более, чем на одну тысячную градуса ($2 \cdot 10^{-3}$ малой калории). Таким образом, остается предположить, что в данном случае мы видим длительное изменение механических свойств нерва в результате воздействия постоянным током — своего рода механический эквивалент явления электротона.

Изменение механических свойств нерва имеет место не только при прямом электрическом раздражении. Облучение нерва ультрафиолетовыми лучами, воздействие полем УВЧ, а также химическими раздражителями приводит к аналогичным эффектам.

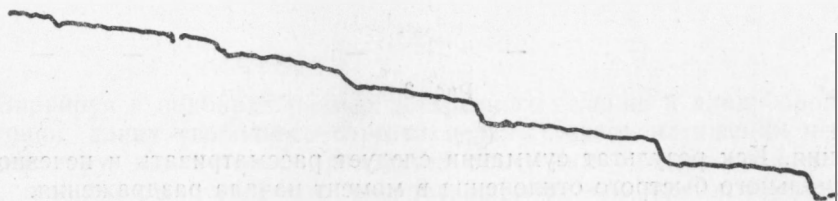


Рис. 4

Обнаруженное нами быстро протекающее нарушение механических свойств нерва в ответ на раздражение свидетельствует о наличии структурной перестройки в живом веществе нервного проводника.

Если в предыдущей нашей работе мы имели возможность обнаружить лишь медленно протекающее изменение вязкости развивающееся в основном в последствии, то новая методика, использованная в настоящем исследовании, показала наличие иной категории структурных процессов, возникающих и совершающихся непосредственно во время раздражения. Наличие структурных перестроек субстрата нерва, соответствующее проведению возбуждения, показано нами в последнее время и оптическим путем (4).

У нас еще нет данных для того, чтобы судить о физико-химической сущности обнаруженного явления. Можно высказать предположение, что в его основе лежат механизмы, качественно аналогичные механизмам сокращения мышечного волокна. Однако при этом имеет место то различие, что в соответствии со своеобразием субмикроскопической структуры (иными условиями «сцепления») сократительная способность отдельных элементов практически не суммируется во внешний эффект общего укорочения волокна. Имеет место распространяющаяся волна структурных нарушений, не превращающаяся во внешне наблюдаемую механическую работу и с ничтожным по абсолютной величине макроскопическим механическим эффектом.

Лаборатория биофизики, изотопов и излучений
при Отделении биологических наук
Академии наук СССР

28 VII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. В. Корнакова, Г. М. Франк и Л. Н. Штейнгауз, Физиолог. журн. СССР, 33, 483 (1947). ² Б. П. Ушаков, ДАН, 71, № 1 (1950). ³ J. V. Flaig, J. Neurophysiol., 10, 211 (1947). ⁴ Р. Г. Людковская, Г. М. Франк, ДАН, 87, № 3 (1952).