

Л. ГАВРИЛОВА

**КОНТРАКТУРЫ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТЫХ МЫШЦ,
ПОЛУЧЕННЫЕ ДЕЙСТВИЕМ ГИПОТОНИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ**

(Представлено академиком К. М. Быковым 14 X 1948)

В работах Д. Н. Насонова и И. П. Суздальской⁽¹⁾, а также В. П. Буткевич⁽²⁾ было изучено, в какой последовательности появляются в мышцах признаки местного возбуждения, наркоза и повреждения при прогрессивном увеличении дозы действующего раздражителя. В первой из двух упомянутых работ в качестве раздражителей были использованы этиловый спирт, эфир, NaCl, KCl и HCl, во второй — высокая температура. Было установлено, что при действии упомянутых раздражителей признаки стойкого местного возбуждения (контрактура) и наркоза (электрическая невозбудимость) возникают при одних и тех же пороговых дозах раздражителя и в дальнейшем нарастают вплоть до гибели препарата. Это дало повод рассматривать клеточный наркоз (в широком значении этого термина) как рефрактерную фазу местного возбуждения. Что же касается обратимого повреждения протоплазмы, определяемого степенью повышения диффузной витальной окрашиваемости (паранекроз), то оказалось, что таковое обнаруживается даже несколько раньше появления признаков возбуждения.

Целью настоящей работы было решение вопроса, в какой степени описанная закономерность приложима к действию гипотонической среды как раздражителя на мышцы.

В качестве объекта была использована прямая мышца живота лягушки. Методика применялась в основном та же, что и в работе Д. Н. Насонова и И. П. Суздальской, и поэтому мы здесь ограничимся лишь указаниями на отступления от их методики в тех местах, где они были сделаны.

1. Гипотонические контрактуры. В ответ на действие гипотонических растворов, мышцы, как и в ответ на действие других раздражителей, отвечают контрактурой⁽³⁾. Эту контрактуру можно рассматривать как проявление местного стойкого возбуждения. Мы поставили себе задачу определить, начиная с каких степеней разведения рингеровский раствор будет вызывать контрактуру, т. е. будет действовать как раздражитель. Контрактуры записывались обычным миографическим способом при максимально облегченном рычажке и небольшом грузе, достаточном лишь для того, чтобы уравновесить мышцу. Соотношение плечей рычажка было во всех опытах одинаковым, что давало возможность, при соответствующей поправке на длину мышцы, до высоты кривой, записанной на ленте кимографа, судить об относительной величине контрактур при действии растворов различной разведения.

Результаты опытов даны в табл. 1 и на рис. 1 и 2. В 3-м столбце табл. 1 приведены относительные величины контрактур в условных единицах. Каждая цифра представляет среднее арифметическое из несколь-

ких экспериментов. При разведении рингеровского раствора в 2 раза мышцы никогда не дают контрактур, и только начиная с разведения в 4 раза во всех случаях мы наблюдаем контрактуры. Следовательно, только начиная с этого разведения гипотония действует как раздражитель, приводящий мышцу в состояние местного стойкого возбуждения. На рис. 2 эта область контрактур заштрихована.

Таблица 1

Разведение рингеровского раствора	Время наступления полной электрич. возбудимости в мин.	Высота контрактур на киограммах. отнесенная к 1 см длины мышцы (усл. един.)	Разница в прижизненной окраске опытных и контрольных мышц, выраженная в % к окраске контролей (паранекроза)	
			Далия-фиолет 0,1%	Далия-фиолет 0,01%
1	6005	0	0	0
1/2	1527	0	10,9 ± 3,3	5,5 ± 5,5
1/4	81	2,2	48,3 ± 5,6	41,6 ± 5,2
1/8	67	8,3	56,5 ± 5,8	57,2 ± 1,4
1/16	53	7,7	57,1 ± 7,8	59,5 ± 7,9
1/32	46	7,6	58,0 ± 7,5	58,4 ± 6,3
1/128	46	7,6	56,6 ± 1,8	60,0 ± 8,0

Как видно из рис. 1, гипотонические контрактуры возникают с небольшим латентным периодом и медленно нарастают, достигая максимума через 15—30 мин. Начиная с разведения 1:8, при развитии контрактуры наблюдаются отдельные подергивания.

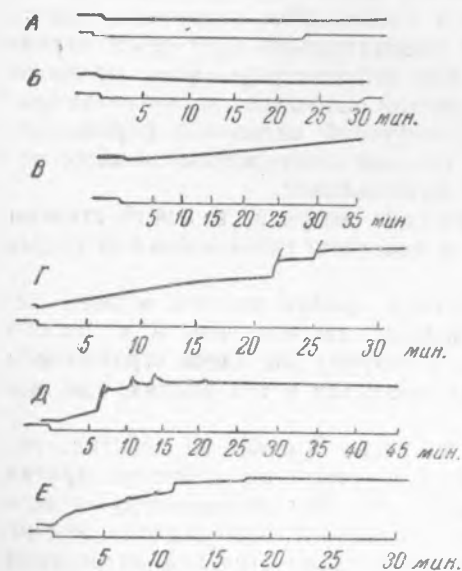


Рис. 1. Миограммы мышечных контрактур, полученных при действии рингеровских растворов различной степени разведения. А — 1Р, Б — $1/2$ Р, В — $1/4$ Р, Г — $1/8$ Р, Д — $1/16$ Р, Е — $1/32$ Р.

2. Быстрота наступления невозбудимости (гипотонический наркоз). Возбудимость мышц определялась прямым раздражением индукционным током. Определялось время наступления полной утери электрической возбудимости при сдвинутых катушках индуктория. Результаты этих исследований приведены в табл. 1 и на рис. 2, где даны средние арифметические от многих измерений. Мы видим, что в рингеровском растворе, разведенном в 2 раза, мышцы способны переживать очень долгое время (больше суток), в то время как в разведении 1:4 они полностью теряют возбудимость уже через 81 мин., а дальнейшие разведения в 2 раза лишь незначительно укорачивают время наступления полной невозбудимости. Таким образом,

разведение 1:4 рингеровского раствора можно рассматривать как порог, начиная с которого в гипотонической среде мышцы быстро теряют возбудимость (гипотонический наркоз и смерть). Мы видели выше, что как раз начиная с этого разведения гипотонический рингер вызывает в мышцах контрактуры, приводя их в состояние стойкого местного возбуждения. Таким образом, и при действии на мышцу гипо-

тоническими средами обнаруживается та же закономерность, которая была обнаружена при воздействии на нее других раздражителей.

На рис. 2 дана кривая зависимости быстроты наступления гипотонического наркоза* от степени разведения рингеровского раствора. График логарифмирован по обеим осям. Такой способ изображения имеет два преимущества. Прежде всего форма полученной кривой не зависит от выбранных масштабов**, а кроме того, гораздо лучше обнаруживается пороговая концентрация, так как в области порога происходит резкий перелом кривой от одной закономерности (более или менее длительное переживание) к другой (быстрое наступление наркоза). Эта область перелома изображена на графике вертикальной пунктирной линией.

Специально поставленные эксперименты показали, что мышцы, потерявшие свою возбудимость в любой из взятых гипотонических сред, быстро восстанавливали возбудимость, если немедленно после полной потери ее они были перенесены обратно в нормальный рингеровский раствор. Впрочем, это восстановление никогда не бывало полным.

3. Усиление витальной окрашиваемости при действии гипотонических растворов. В работе Д. Н. Насонова и И. П. Суздальской для оценки степени альтерации протоплазмы (паранекроза) при действии раздражителей применялась витальная окраска нейтральным красным***. Однако, ввиду того что все исследованные в этой работе раздражители (наркотики, электролиты) сами по себе, в силу чисто физических причин, влияют на окраску субстрата (снижают ее), пришлось окрашивать мышцы не во время действия раздражителя, а непосредственно после его отмывки, в расчете на то, что за время окраски не успеет полностью произойти восстановление.

В противоположность этому в настоящей работе мы имели возможность изучить витальную окраску во время действия раздражителя благодаря тому, что в нашем распоряжении имелся краситель — далия-виолет, на окраску которым, как это было показано Д. Н. Насоновым и В. Я. Александровым⁽⁵⁾, соли, входящие в состав рингеровского раствора, никакого влияния не оказывают. Следовательно, изменение окра-

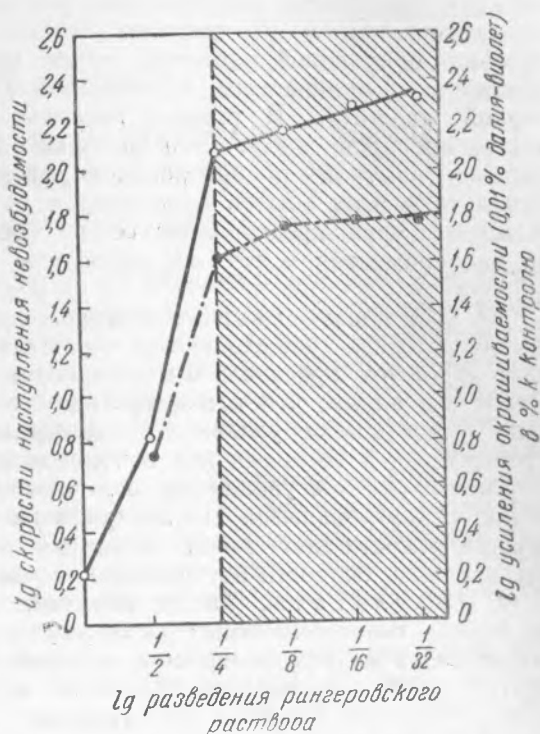


Рис. 2. Изменение скорости наступления невозбудимости (сплошная кривая) и усиление окрасиваемости мышц (пунктирная кривая) в зависимости от степени разведения рингеровской жидкости

* Величина, обратная времени наступления полной невозбудимости (10 000 : время в минутах).

** Выбор масштаба по оси ординат (в нашем случае скорости наступления наркоза) может только переместить кривую по вертикали, не меняя ее формы.

*** Паранекроз под влиянием гипотонической среды был впервые обнаружен и исследован И. Е. Камневым⁽⁴⁾.

шиваемости живых мышц этим красителем могло быть в наших опытах отнесено исключительно за счет реактивных, паранекротических альтераций протоплазмы.

Окраска производилась следующим образом. Приготавливалась серия растворов, в которые краситель (далия-виолет) входит в одинаковых концентрациях, отличавшихся друг от друга только степенью разведения рингеровских солей. В одной из серий опытов применялся 0,1% раствор красителя, в другой — 0,01% раствор. В первом случае окраска мышц длилась 5 мин., во втором 10 мин. В каждом из растворов окрашивалась одна мышца, и одновременно другая, контрольная, окрашивалась в нормальном рингеровском растворе. После окраски обе мышцы споласкивались и из соседних частей каждой из них вырезались кусочки одинаковой площади, затем оба кусочка помещались в две пробирки с одинаковым количеством 70° спирта, подкисленного 2% серной кислотой. В течение нескольких часов краситель полностью экстрагировался, после чего колориметрически определялась разница окраски опытной и контрольной мышц в процентах к контролю. Результаты этих опытов приведены в двух последних столбцах табл. 1. Каждая цифра представляет собою среднее арифметическое из 10—15 экспериментов и тут же приведены вычисленные вероятные его ошибки.

Из этих цифр прежде всего видно, что изменение концентрации красителя в 10 раз существенно не отражается на результатах. Это указывает на то, что краситель в наших опытах играл лишь роль индикатора. Далее мы видим, что в подпороговом разведении (1:2) наблюдается лишь самое слабое усиление окрашиваемости, стоящее на границе достоверности, в то время как в пороговом разведении (1:4) происходит внезапное, сильное увеличение окрашиваемости опытных мышц по сравнению с контрольными. На логарифмическом графике (рис. 2) кривая окрашиваемости дает такой же резкий перелом в точке порога (1:4), как и кривая скорости наступления наркоза.

4. Результаты. Таким образом, мы видим, что при действии на мышцу гипотоническими растворами рингеровской жидкости обнаруживается та же закономерность, которая была раньше описана для ряда других раздражителей (электролитов, наркотиков и высокой температуры). Местное стойкое возбуждение (гипотонические контрактуры) появляется при тех пороговых дозах раздражителя, которые быстро приводят мышцы к невозбудимости (гипотонический наркоз). Это дает основание, как и в предыдущих случаях, рассматривать гипотонический наркоз как рефрактерность стойкого возбуждения, вызванного гипотонией.

Как и в предыдущих случаях, признаки паранекротических изменений протоплазмы появляются уже при действии подпороговых доз раздражителя (1:2), а при переходе к пороговым (1:4) они скачкообразно усиливаются. Как и в предыдущих случаях, мы и здесь допускаем, что паранекротические изменения протоплазмы служат пусковым механизмом для тех биохимических превращений, которые лежат в основе мышечного сокращения (контрактуры).

Физиологический институт
Ленинградского государственного университета

Поступило
27 IX 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. Н. Насонов и И. П. Суздальская, Изв. АН СССР, сер. биол., № 5, 15 (1948). ² В. П. Буткевич, Вест. ЛГУ, № 1, 124 (1948). ³ E. Meigs, Am. J. Physiol., 26 (1910). ⁴ И. Е. Камнев, Тр. Физиол. ин-та ЛГУ, № 14 (1934). ⁵ Д. Н. Насонов и В. Я. Александров, Биол. журн., № 6 (1937).