

Н. М. МАСЛОВ и С. М. СВЕРДЛОВ

**О СООТНОШЕНИИ МЕЖДУ ИМПЕДАНСОМ МЫШЦЫ
И ЕЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ
ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ**

(Представлено академиком Л. А. Орбели 5 I 1950)

При изучении сопротивления мышцы электрическому току в ней уже давно были обнаружены емкостные свойства. Для объяснения этих свойств чаще всего привлекается представление о клеточных мембранах — поверхностных структурах с избирательной проницаемостью для ионов, обладающих свойствами несовершенного диэлектрика. Такие мембраны, разделяя внутри- и внеклеточные растворы электролитов, естественно, должны сообщать системе свойства емкости: статической и поляризационной. С другой стороны, со свойствами мембраны и изменением уровня ее поляризации обычно связываются и те разности потенциалов, которые обнаруживаются в ткани при ее повреждении, альтерации и возбуждении.

Мы решили сопоставить изменения реактанса и поляризационного потенциала мышцы, подвергая ее воздействию некоторых химических агентов, полагая, что результаты такого сопоставления будут не лишены некоторого теоретического интереса.

Методика. Для количественной оценки реактанса мышцы определялось отношение R_4/R_6 : величины сопротивления мышцы, измеренного на частоте 10^4 гц, к величине ее сопротивления на 10^6 гц. Две эти частоты соответствуют приблизительно двум критическим точкам на кривой Филиппсона. Отношение R_4/R_6 будет в дальнейшем обозначаться для краткости как K_2 . Каждые два таких измерения производились быстро, одно за другим, посредством включения мышцы через коммутатор в измерительные плечи, то одного — низкочастотного, то другого — высокочастотного, находящихся «наготове» мостов. Мышца находилась в специальной измерительной кювете с электродами. Напряжение в диагоналях мостов после усиления контролировалось по катодному осциллографу. В балансирующем плече низкочастотного моста для компенсации сдвига фаз и достижения точного баланса находился в параллели прецизионный магазин емкостей; для высокочастотного моста достаточно было небольшой подстроечной переменной емкости*.

Разности потенциалов между участками мышцы (в «солевых токах» или «токах повреждения») определялись обычным компенсационным методом. Употреблялись портняжные мышцы лягушек (*Rana ridibunda* и *R. temporaria*). Опыты произведены в 1948—1949 гг.

* Обе мостовых установки, обладавшие высокой чувствительностью по R и C , были сконструированы в нашей лаборатории проф. И. Г. Дрейзеном при участии Е. Т. Мартусова.

Результаты. Для нормального свежееотпрепарированного сартриуса лягушки характерно совершенно определенное значение величины K_z . В среднем, в наших условиях опыта, оно равно приблизительно 5 с небольшими колебаниями в ту или другую сторону, лишь очень редко достигающими 20%.

В процессе переживания мышцы в рингеровском растворе при температуре 15—18° это отношение стойко удерживается в течение многих часов, и в первые часы после приготовления препарата обнаруживает иногда тенденцию к нарастанию. Спустя 20—30 час. K_z начинает очень медленно убывать, приближаясь или достигая единицы через 60—70 час., когда в мышце обнаруживаются уже явные признаки посмертного распада. Такое уменьшение K_z происходит за счет падения R_4 , указывая на разрушение именно реактивного компонента в импедансе мышцы. R_6 начинает уменьшаться позднее, в связи с посмертными изменениями мышцы, вероятно, благодаря распаду крупномолекулярных соединений и освобождению связанных с протоплазмой ионов. Потенциал повреждения мышцы в условиях ее переживания убывает в общем по тому же временному закону, приближаясь к нулю при отмирании (при его определениях поперечный разрез должен каждый раз обновляться).

Известно, что денатурация мышцы высокой температурой (погружение ее в нагретый до 60° рингеровский раствор) или фиксация ее этиловым спиртом тотчас же приводят к падению K_z до единицы. На «убитых» таким образом мышцах отсутствует и разница потенциалов между поверхностью разреза и продольной поверхностью. С другой стороны, мышца, подвергнутая длительному (3—4 часа) действию дистиллированной воды, уже помутневшая, набухшая, ставшая совершенно ригидной и необратимо потерявшая свою возбудимость, тем не менее, сохраняет свой K_z неизменным или даже повышенным. Вместе с тем известно (мы убедились в этом собственными опытами), что участок мышцы, обработанный дистиллированной водой, становится электропозитивным относительно неальтерированного участка.

В большой серии опытов мы испытали влияние на импеданс мышцы солей одно- и двухвалентных катионов.

Замена в измерительной кювете с мышцей рингеровского раствора изотоническим раствором хлористого натрия не изменяет ни R_4 , ни R_6 и, следовательно, K_z остается постоянным в течение многих часов.

Под влиянием хлористого калия K_z мышцы постепенно увеличивается благодаря увеличению R_4 . Увеличение K_z , едва уловимое при слабых концентрациях KCl в растворе (0,08% на рингере), прогрессивно возрастает с повышением его концентрации, и в изотоническом растворе (0,8%) K_z может в 3—5 раз превысить норму (увеличение на 300—400%). В таком растворе максимум K_z достигается по истечении 3—5 час. (рис. 1, 1). Затем K_z начинает очень медленно и постепенно убывать, так что даже по прошествии 20 час. он все еще остается больше своего нормального значения.

В изотоническом растворе сернистого калия динамика изменений K_z оказывается существенно иной (рис. 1, 2). Во-первых, увеличение K_z , которое происходит здесь также благодаря увеличению низкочастотного сопротивления, составляет в среднем только 50%, причем большая часть этого приращения совершается уже в течение первых 20—30 мин. действия соли, а дополнительное приращение может растянуться на 20 час. и больше.

Это обстоятельство следует подчеркнуть тем более, что, как показывают наши опыты, негативирующее действие на мышцу изотонических растворов KCl и K_2SO_4 , судя по напряжению солевых токов,

развивается одинаково быстро и максимум напряжения, который для K_2SO_4 оказывается несколько больше, чем для KCl , достигается в течение 15—30 мин.

При замене рингеровского раствора изотоническим раствором хлористого кальция K_z сразу же, в течение 2—3 мин., падает в среднем на 40% и затем или остается на новом уровне в течение многих часов или, что чаще, очень медленно убывает (рис. 1, 3). Падение K_z происходит благодаря уменьшению R_4 мышцы, причем в значительно меньшей степени уменьшается и R_6 .

При замене рингеровского раствора изотоническим раствором хлористого бария получают несколько иные отношения. В этом случае в течение первых 20—30 мин. имеет место незначительное, но закономерное падение R_6 , которое сменяется последующим медленным его нарастанием (рис. 1, 4). R_4 в эти первые минуты ведет себя неопределенно, но затем также начинает нарастать. В силу этого K_z после небольшого падения в начале действия $BaCl_2$ остается в общем весьма постоянным в течение чрезвычайно длительного времени — более 20 час. Позднее K_z начинает падать.

Под влиянием хлористого магния (рис. 1, 5) происходит следующее. Непосредственно после замены им рингеровского раствора R_6 нарастает. Но так как R_4 растет быстрее, K_z увеличивается медленно, но непрерывно. Позже R_6 продолжает еще расти, но R_4 уже убывает.

Максимальное приращение K_z , которое продолжается 10—20 час., может достигнуть сравнительно большой величины (80—90%). Иногда даже после 48-часового пребывания мышцы в растворе $MgCl_2$ K_z может еще быть близким к норме.

По поводу солевых токов найдено следующее: $CaCl_2$ негативирует мышцу. Негативирующее действие $CaCl_2$ (в отличие от KCl) развивается медленно, так что максимальное значение разности потенциалов между участком мышцы, погруженным в солевой раствор, и нормальным ее участком — около 40 мв — достигается после 2 час. непрерывной альтерации. Затем эта разность убывает с такой же приблизительно скоростью, с какой происходило ее нарастание (рис. 2, 3).

Хлористый магний (рис. 2, 5) обнаруживает явное позитивирующее действие, достигающее максимума — около 9—10 мв — уже в первые 10—20 мин. Затем напряжение убывает, но и через 18 час. оно еще сравнительно велико. Кривая идет здесь параллельно оси абсцисс.

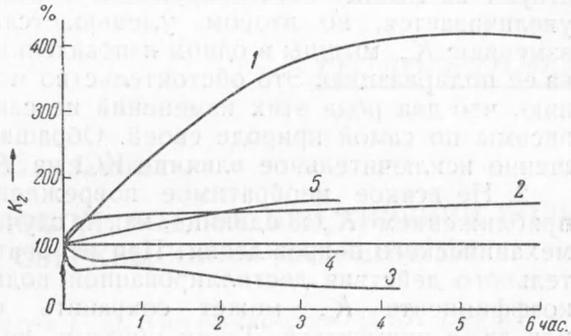


Рис. 1. Динамика изменений коэффициента K_z в изотонических растворах солей. За 100% принято значение K_z в рингеровском растворе. 1 — в растворе KCl , 2 — K_2SO_4 , 3 — $CaCl_2$, 4 — $BaCl_2$, 5 — $MgCl_2$.

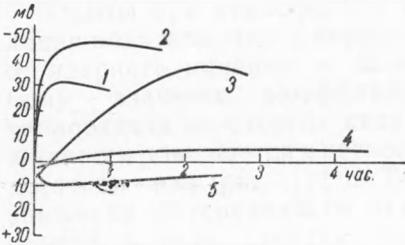


Рис. 2. Развитие эдс в «солевых токах» мышцы. На оси ординат отложена разность потенциалов между двумя участками мышцы: погруженным в изотонический раствор соли и находящимся в воздухе влажной камеры. — означает негативирование альтерируемого участка, + его позитивирование. 1 — в растворе KCl , 2 — K_2SO_4 , 3 — $CaCl_2$, 4 — $BaCl_2$, 5 — $MgCl_2$.

Из изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Динамика изменений частотного коэффициента импеданса и поляриационные изменения мышцы в растворах различных солей протекают совершенно по-разному; различным оказывается и соотношение этих изменений, притом не только по временному течению и амплитуде, но и по направлению. Так например, растворы KCl и $CaCl_2$ оба действуют на мышцу негативирующим образом, но в первом случае K_z увеличивается, во втором уменьшается. Наоборот, KCl и $MgCl_2$ изменяют K_z мышцы в одном направлении, но противоположно влияют на ее поляризацию. Это обстоятельство может дать повод к утверждению, что два рода этих изменений не связаны между собой и независимы по самой природе своей. Обращает на себя внимание совершенно исключительное влияние KCl на K_z мышцы.

2. Не всякое необратимое повреждение мышцы сопровождается приближением K_z к единице, как в случаях, например, теплового или механического повреждения. При необратимом повреждении от длительного действия дистиллированной воды или KCl , $MgCl_2$ величина коэффициента K_z может сохранить свое нормальное значение или даже повыситься. Таким образом, не всякое повреждение мышцы сопровождается разрушением реактивного компонента в ее электрической структуре.

Физиологический институт
им. И. П. Павлова
Академии наук СССР

Поступило
25 XII 1949