

Н. М. МАСЛОВ

ОБ ИМПЕДАНСЕ МЫШЦЫ ПРИ ТЕПЛОВОЙ КОНТРАКТУРЕ

(Представлено академиком А. И. Опариным 8 III 1952)

Изучение электрических параметров мышцы должно способствовать выяснению зависимости между функциональными свойствами мышцы и ее структурой. Импеданс мышцы, состоящий из омического и емкостной составляющих, характеризует электрические свойства мышцы с различных сторон в зависимости от частоты переменного тока, на котором производится измерение. На низких частотах (около 10^4 гц) на значении импеданса сильно сказываются ионные концентрационные сдвиги на внутримышечных поляризуемых образованиях, на высоких частотах главное влияние приобретает поляризация ориентации полярных молекул, взаимодействие между ними, количество электрических зарядов и т. д. Одновременное наблюдение за изменением низкочастотных и высокочастотных параметров способствует истолкованию исследуемого явления.

В настоящей работе мы исследовали влияние изменения температуры и тепловой контрактуры мышцы на ее электрические параметры. Вопрос влияния температуры мышцы на ее низкочастотную электропроводность привлекал внимание исследователей и ранее ((¹, ⁴) и др.). Мы воспользовались для изучения указанных факторов приемом, предложенным Тарусовым и заключающимся в том, что определяется отношение сопротивления мышцы на низкой частоте (10^4 гц) к ее сопротивлению на высокой частоте (10^6 гц). Это отношение R_4/R_6 , называемое омическим частотным коэффициентом, который мы обозначаем через K_z , может, повидимому, быть показателем поляризационных свойств мышцы и иметь значение для оценки связи между функциональным состоянием мышцы и ее структурой.

Методика определения импеданса мышцы на двух указанных частотах была описана нами ранее (⁵). Объектом исследования была портняжная мышца лягушки (*Rana temporaria* и *R. ridibunda*).

Мышца помещалась в специальной камере между двумя платиновыми электродами-пластинками. Один из них — нижний — плотно прилегал к уплощенной в этом месте поверхности стеклянной трубки, через которую пропускался ток воды различной температуры. На этот электрод помещалась мышца либо поперек трубки в том случае, когда хотели произвести локальное обогревание мышцы, либо по длине ее, когда изменялась температура всей мышцы. Опыты показали, что это различие в положении мышцы не влияет существенным образом на результаты. Второй электрод — верхний — таких же размеров с помощью специального винта подводился к поверхности мышцы до полного соприкосновения с нею и в таком положении закреплялся.

В целях проверки метода был проведен ряд опытов и в других условиях. Мышца в несколько растянутом состоянии помещалась в небольшой кювете из плексигласа между двумя платиновыми электродами (размер 13×2 мм). Электроды, смонтированные на одном уровне (заподлицо) с пластинами из плексигласа, плотно зажимали мышцу в направлении ее широких поверхностей и укреплялись неподвижно на все время опыта. Кювета наполнялась рингеровским раствором и помещалась в специальный сосуд, температура в котором изменялась нагретой водой или охлаждающей смесью. Сравнительно медленное прогревание или охлаждение рингеровского раствора в кювете с мышцей позволяло очень удобно измерять сопротивление мышцы при разных температурах через каждые $1-2^\circ$, а в нужных случаях, как, например, в процессе контрактуры, поддерживать температуру мышцы постоянной ($\pm 0,25-0,5^\circ$) в течение всего нужного для наблюдения времени (от 15 до 50 мин.). Полученные тем и другим методом результаты полностью совпали, за исключением порога наступления контрактуры, который при нагревании в рингеровском растворе снижался в отдельных случаях до 35° с температуры $38-40^\circ$, наблюдавшейся постоянно во влажной камере.

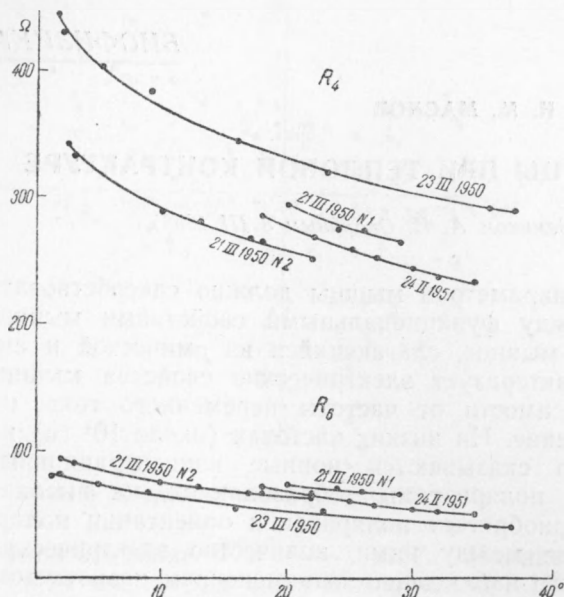


Рис. 1. Изменение сопротивления мышцы в зависимости от температуры в доконтрактурном интервале. R_4 — сопротивление на низкой частоте 10^4 гц, R_6 — сопротивление на высокой частоте 10^6 гц

Как и в предыдущей нашей работе, значение частотного коэффициента K_z для портняжной мышцы лягушки спустя 2 часа после препаровки равнялось приблизительно 5. Это значение K_z для каждой нормально отпрепарованной мышцы при постоянной температуре около 20° достаточно стабильно в продолжение 2—3 и более часов. При охлаждении мышцы до 0° и последующем нагревании до 34° или при непосредственном нагревании от комнатной температуры до 34° во всем этом доконтрактурном интервале наблюдается обычное падение сопротивления мышцы как на низкой, так и на высокой частоте.

Однако вследствие более высокого градиента падения на высокой частоте (достигающего в среднем 2% на 1°), чем на низкой (около 1,5% на 1°), частотный коэффициент K_z увеличивается, и его приращение составляет здесь около 0,4% на 1° . В отличие от этого контрольные опыты со смоченной в рингеровском растворе полоской фильтровальной бумаги (в 1, 2 и 3 слоя толщины), помещенной между электродами вместо мышцы, показали, что при всех изменениях температуры от 0 до 40° K_z остается постоянным и равным 1.

Особое внимание было обращено нами на изменение сопротивления мышцы и частотного коэффициента в той области температур, когда начинает развиваться тепловая контрактура. Подходя к этой области ($35-38^\circ$), мы наблюдали резкое нарушение всего хода изменений R_4 и R_6 . При развитии контрактуры мышцы сопротивление ее на высокой

частоте R_6 почти не меняется, длительно сохраняя то значение, которого оно достигло в своем падении к моменту наступления контрактуры. Кривая же изменения сопротивления на низкой частоте R_4 претерпевает здесь еще более резкий перелом: вместо наблюдавшегося с уве-

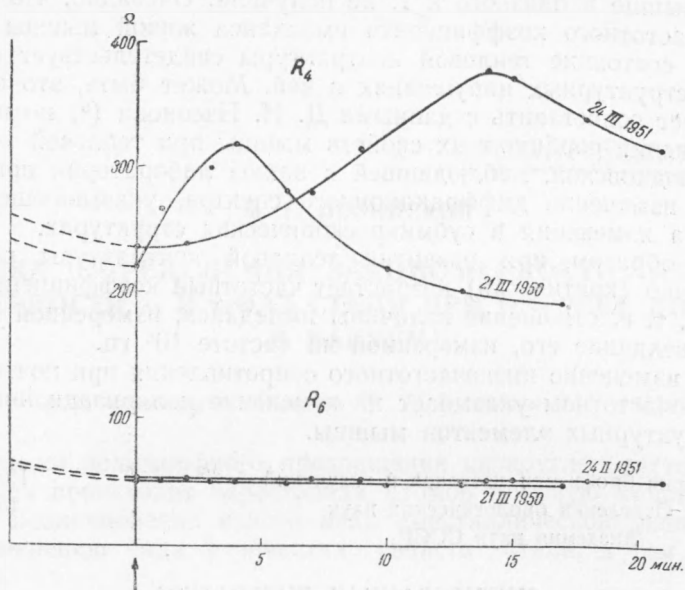


Рис. 2. Изменение сопротивления мышцы на низкой (10^4 гц) и высокой (10^6 гц) частотах в процессе развития тепловой контрактуры. Пунктиром показано изменение сопротивления мышцы при повышении температуры, предшествующее наступлению контрактуры (момент, обозначенный стрелкой)

личением температуры постепенного падения сопротивления начинается интенсивный его рост, который продолжается от 2 до 10 и 15 (для некоторых препаратов) минут, несмотря на сохранение теперь температуры постоянной или даже увеличения ее. Затем, по прошествии указанного промежутка времени снова наступает перелом, и сопротивление постепенно падает.

Следствием такого резкого различия в поведении сопротивлений мышцы на низкой и высокой частотах в процессе развития контрактуры и является значительное и характерное увеличение частотного коэффициента K_z , достигающее в отдельных случаях 50—70% от своего последнего предконтрактурного значения.

Максимальное же приращение частотного коэффициента K_z при контрактуре достигает 4% на 1° , превосходя, таким образом, приращение K_z в доконтрактурном периоде (0,4% на 1°) в 10 раз. Мы проверили

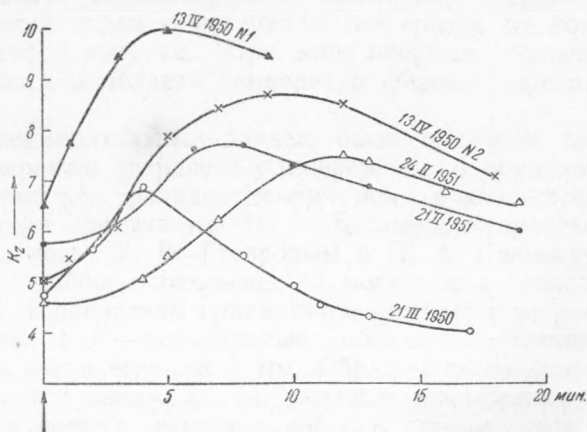


Рис. 3. Изменение омического частотного коэффициента в процессе развития тепловой контрактуры — несколько кривых из разных опытов

полученный эффект измерениями на убитой предварительно холодом мышце и на мышце, отмершей в рингеровском растворе (выдержанной в нем больше 60 час.), и в обоих случаях никаким нагреванием в пределах от 20 до 40° никакого увеличения K от значения, присущего мертвой мышце и близкого к 1, не получили. Очевидно, что резкое изменение частотного коэффициента импеданса живой мышцы при переходе ее в состояние тепловой контрактуры свидетельствует о каких-то глубоких структурных нарушениях в ней. Может быть, это обстоятельство следует сопоставить с данными Д. Н. Насонова⁽⁶⁾ по поводу резкого изменения сорбционных свойств мышцы при тепловой контрактуре и Р. Г. Людковской, наблюдавшей в нашей лаборатории при этом характерное изменение диффракционного спектра, указывающее, в свою очередь, на изменения в субмикроскопических структурах.

Таким образом, при развитии тепловой контрактуры портняжной мышцы резко (критически) возрастает частотный коэффициент импеданса мышцы, т. е. отношение величины импеданса, измеренной на частоте 10⁴ гц, к величине его, измеренной на частоте 10⁶ гц.

Резкое изменение низкочастотного сопротивления при почти неизменном высокочастотном указывает на изменение поляризационных соотношений структурных элементов мышцы.

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

Получено
15 II 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. В. Лебединский, Физиол. журн., 16, в. 1 (1933). ² М. Д. Кашкай, Тр. Воен.-мед. акад., 34 (1941). ³ Galeotti, Zs. f. Biol., 44, 556 (1904). ⁴ Her-
шап, Handb. d. Physiol., 1 (1879). ⁵ Н. М. Маслов, ДАН, 71, № 1 (1950).
• В. П. Буткевич, Вестн. Ленингр. ун-та, № 1, 124 (1948).