

диастолическое расслабление, как мышечной полоски, функционирующей в режиме свободного сокращения, так и в опытах на мышечном препарате, предварительно растянутом до определенной длины. Введение дилантина в концентрации 10^{-9} — 10^{-6} М не снижало величины положительного инотропного эффекта, наблюдаемого на изолированном препарате сердечной мышцы, при добавлении к перфузионной жидкости изопротеренола (10^{-7} М), увеличении концентрации ионов кальция или применении метода парной стимуляции. Полученные данные показывают, что дилантин в применяемой концентрации не оказывает прямого инотропного эффекта на сердечную мышцу. Проведенные эксперименты не подтвердили предположений о том, что отрицательное инотропное действие дилантина связано с блокадой этим веществом β -адренорецепторов сердечной мышцы или с нарушением процесса взаимодействия ионов кальция с контрактильной системой миофибрилл. Можно считать доказанным, что кажущийся депрессорный эффект препарата в отношении сократительной деятельности сердца связан с его вторичным действием на системы, регулирующие периферическое кровообращение.

О ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЯХ ЭФФЕКТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДЕФИБРИЛЛЯЦИИ СЕРДЦА ОДИНОЧНЫМ ИМПУЛЬСОМ

Доктор мед. наук **Н. Л. Гурвич**,
канд. мед. наук **В. А. Макарычев**.

**Лаборатория Экспериментальной физиологии по оживлению
организма АМН СССР**

Широкое клиническое применение импульсных дефибрилляторов для лечения аритмий сердца, включая фибрилляцию желудочков, придает исключительную важность вопросу о способе оценки и градуировки электрического воздействия на сердце.

Методика дефибрилляции сердца одиночным импульсом была разработана в результате исследований закономерностей электрической дефибрилляции разрядом конденсатора. Эти исследования позволили установить приложимость к эффекту дефибрилляции сердца основного закона в электро-раздражении — строго определенной зависимости между силой и продолжительностью воздействия (Н. Л. Гурвич, 1943, 1957). В соответствии с данными положениями оказалось,

что наиболее адекватным для дефибрилляции сердца является одиночный электрический импульс, полученный при разряде конденсатора через индуктивность. Созданный на этом принципе советский дефибриллятор (типа ИД-1-ВЭИ), генерирует одиночный импульс постоянной продолжительности, близкой к «полезному» времени раздражения сердца (8—10 мсек.). Дозировка воздействия в аппарате производится по напряжению на конденсаторе. Работы Maskay, Leeds, (1953); Peleska, (1957, 1962), Lowp с сотрудниками, (1962) подтвердили преимущества применения разряда конденсатора через индуктивность для дефибрилляции и лечения аритмий. В настоящее время на этом принципе созданы многочисленные типы дефибрилляторов, генерирующие одиночный импульс различной продолжительности: 2,5 мсек (Lowp, 1962), 10—16,6 мсек (Peleska, 1962), 20 мсек (Dittmar с сотрудниками, 1964).

Зарубежные исследователи считают, что эффект дефибрилляции определяется энергией разряда, тем самым допуская мысль об одинаковой эффективности электрического воздействия при равном количестве энергии, независимо от его продолжительности (Lowp, 1962; Hoopps 1964; Clement сопр. 1964; Castellanos с сопр. 1965 и др.). Дозировка воздействия на больного в большинстве иностранных дефибрилляторов производится по величине энергии разряда, выраженной в ватт-сек.

Различная оценка эффективности электрического воздействия на сердце (по параметру напряжения или энергии разряда) при большом разнообразии длительности применяемых импульсов, побудило нас изучить взаимозависимость между продолжительностью, напряжением, силой тока и энергией дефибриллирующего импульса для установления физиологических критериев оценки эффекта воздействия на сердце. С этой целью изучались в эксперименте пороговые величины напряжения, тока и необходимого количества энергии при устранении фибрилляции желудочков одиночным импульсом с продолжительностью полупериода 2,5—2,8—4,0—5,6—8,3—14,0 мсек. Одиночный импульс был оптимальной формы, в виде разряда конденсатора через индуктивность.

Методика опытов

Проведено 256 испытаний на 19-ти собаках весом от 8 до 22 кг после введения им понтатона (4 мг/кг). Фибрилляцию желудочков вызывали воздействием переменного тока 127 вольт в течение 2-х сек. через электроды—иглы, вколотые под кожу передней и контралатеральной задней конечности.

Дефибрилляция сердца осуществлялась разрядом конденсатора через электроды (диаметром 7—9 см), расположенные на правой и левой сторонах грудной клетки собаки.

Испытывали разряды конденсатора емкостью: 1,6; 2; 4; 8; 16 и 40 мкф. При наличии в цепи индуктивности 0,4 генри и сопротивлении около 100 ом (30 ом активного сопротивления катушки и до 70 ом сопротивления животного) продолжительность полупериода импульса составляла соответственно 2,5; 2,8; 4,0; 5,6; 8,3 и 14 мсек. Для измерения пороговой величины дефибриллирующего напряжения в течение 20—30 сек после наступления фибрилляции производили 2—4 разряда при последующем повышении напряжения по вольтметру дефибриллятора до достижения эффекта прекращения фибрилляции сердца. Величину порогового напряжения для разряда конденсатора каждой емкости проверяли несколько раз при повторно вызванной через 10—15 мин фибрилляции желудочков. У каждой собаки измеряли пороговые величины напряжения для разряда конденсатора емкостью 16 мкф. Эти величины для разрядов конденсаторов емкостью 8 и 4 мкф измеряли у 16 собак, для 40 мкф — у 7, для 2 мкф — у 13, а для 1,6 мкф — только у 5 мелких животных (разряды этой емкости были недостаточными для более крупных собак при ограничении напряжения установки до 6 000 вольт). При расчете количества энергии разряда через животное общее количество энергии разряда, накопленное на конденсаторе $\left(\frac{CU^2}{2}\right)^*$, уменьшали на 1/3, учитывая величину активного сопротивления катушки индуктивности. Величины тока устанавливали по фотоосциллограммам, зарегистрированным с помощью осциллографа ОК-21.

Результаты опытов и их обсуждение

Пороговые величины дефибриллирующего напряжения тока и энергии, как показали результаты опытов, находились на относительно постоянном уровне для одной и той же емкости (длительности импульса) у каждой из подопытных собак.

Величина порогового напряжения, дефибриллирующего сердце у отдельных собак для каждой длительности импульса (емкости конденсатора) была различной в зависимости от веса и других индивидуальных особенностей организма животных. Так, при емкости 2 мкф у 13 собак колебания дефибриллирующего напряжения находились в пределах 2550—6000 вольт, а при 4 и 8 мкф по данным измерения на

* В формуле С—емкость (в фарадах) и U—напряжение (в вольтах).

16 собаках дефибриллирующие величины колебались в первом случае от 2000 до 5700 вольт и во втором — от 1600 до 3750 вольт. При емкости 16 мкф пороговое напряжение измерялось у всех подопытных 19 собак и колебания его были от 1500 до 3100 вольт, а при 40 мкф — от 1050 до 2550 вольт (у 7 собак). Низкий уровень дефибриллирующего напряжения был у собак малого веса, высокий — у собак большого веса.

Величина дефибриллирующего тока, так же как напряжения, зависит от веса животного. Например, при емкости 16 мкф пределы колебания пороговой силы тока были от 6,2 ампер (у собаки весом 8,0 кг) до 15,2 ампер (у собаки весом 22 кг). Однако степень корреляционной зависимости дефибриллирующей силы тока от веса нивелировалась индивидуальными особенностями животных. Так, у собак весом 14 кг и 8,5 кг дефибрилляция достигалась при близких величинах силы тока (7,6 и 7,9 ампер).

В соответствии с колебанием порогового напряжения, по которому рассчитывалась величина энергии, последняя значительно варьировала у отдельных животных. При емкости 16 мкф, у подопытных 19 собак энергия колебалась от 7,1 до 48 джоуль.

Проведенные опыты показали, что пороговые величины дефибриллирующего напряжения тока изменяются в обратной зависимости от изменения емкости — длительности импульса.

При рассмотрении величины энергии при разных емкостях конденсатора установлено, что наибольший уровень энергии был при емкости 40 мкф. При емкостях 1,6—2—4—8 мкф энергия была наименьшей и находилась на относительно близких уровнях.

Характерным является достоверный рост энергии при больших емкостях (16 мкф и 40 мкф). Данный рост идет с нарастающим темпом.

В иллюстрацию этих положений приводим данные опыта на собаке весом 10 кг (таблица 1).

В таблице 1 приведены данные о величине напряжения разряда на конденсаторе, тока и энергии при различной емкости и длительности импульса. В нижней части таблицы представлены процентные соотношения этих величин, при условии приравнивания их к ста процентам при емкости 16 мкф, которая испытывалась у всех 19 собак. Такой способ сопоставления оказался практически удобным при статистической обработке результатов наблюдения у всех 19 собак, поскольку ряд емкостей испытывался не у всех собак (табл. 2).

Таблица 1

Зависимость дефибриллирующих напряжений, тока и энергии от емкости разряда — длительности импульса (данные опыта на собаке весом 10 кг)

Емкость (мкф)	2	4	8	16	40
Длительность импульса (мсек)	2,8	4,0	5,6	8,3	14,0
Напряжение (вольт)	4900	3300	2150	1850	1300
Ток (ампер)	12,8	11,9	9,7	8,8	7,5
Энергия (джоуль)	16	14,5	12,3	18,3	22,5
Напряжение (%) +	270%	175%	116%	100%	70%
Ток (%)	145%	135%	110%	100%	85%
Энергия (%)	87%	79%	67%	100%	123%

+ За 100% приняты величины при емкости 16 мкф.

Таблица 2

Относительные величины напряжения, тока и энергии при дефибрилляции разрядами различной емкости — длительности импульса (средние величины значения по данным 19 опытов)

Емкость (мкф)	1,6	2	4	8	16	40
Длительность импульса (мсек)	2,4	2,8	4,0	5,6	8,3	14,0
Напряжение (%) +	280%	227%	175%	111%	100%	80%
Ток (%)	165%	142%	132%	120%	100%	91%
Энергия (%)	77%	64%	77%	64%	100%	167%

+ За 100% приняты величины при емкости 16 мкф.

Из таблиц 1 и 2 видно, что величины дефибриллирующего напряжения и тока находятся в обратной зависимости от емкости разряда (т. е. длительности импульса). Большое изменение величины напряжения, чем тока объясняется непропорциональным изменением этих величин при разряде через индуктивность.

Построенные по данным таблиц 2 кривые (рис. 1) зависимости напряжения (U) и тока (I) от длительности импульса имеют экспоненциальный характер с наибольшей крутизной при малых длительностях импульса (2,5—5,5 мсек). С увели-

чением длительности импульса крутизна этих кривых уменьшается и они приобретают вид асимптот, приближаясь к линии параллельной абсциссе. Такой характер кривых напоминает зависимость между временем и силой электрического раздражения, установленную классическими исследованиями закономерностей возбуждения различных тканей организма

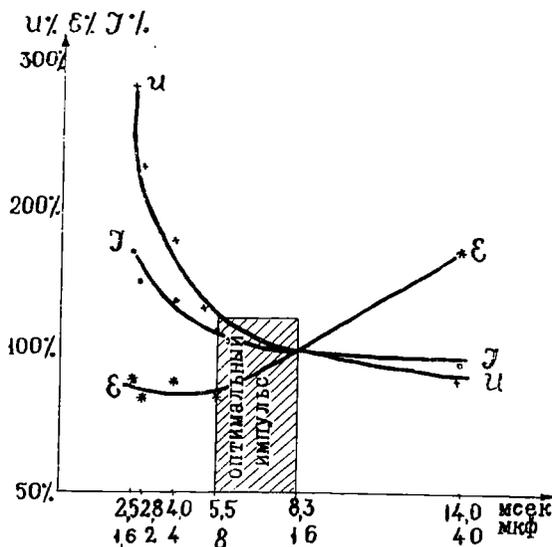


Рис. 1. Кривые зависимости напряжения, силы тока, энергии от длительности импульса — емкости разряда конденсатора. По оси абсцисс отложена длительность импульса (в мсек) и соответствующая ей емкость разряда (в мкф); по оси ординат — напряжение, сила тока и энергия (в процентах к средней величине напряжения, тока и энергии при емкости 16 мкф, при которой эти величины приняты за 100).

(Hoogweg, 1892; Weiss, 1901; Loricque, 1926; Д. Н. Насонов, 1962, и др.). «Полезное время» раздражения при дефибрилляции сердца находится в пределах 10—15 мсек. Эта величина близко совпадает с величиной «полезного времени» раздражения сердца во время диастолы (Race и сотр., 1963; Angelakos Torres, 1964; Schneider, 1964 и другие). Данный факт показывает, что эффект дефибрилляции связан с возбуждением сердца и соответственно с этим определяется за-

кономерностью взаимоотношения силы и длительности раздражения.

Кривая зависимости энергии от длительности импульса (E) отличается от двух предыдущих (рис. 1). При малой длительности импульса эта кривая имеет низкий уровень, а при больших длительностях резко возрастает.

Энергия дефибриллирующего разряда не является постоянной величиной и варьирует в зависимости от продолжительности импульса (рис. 1, табл. 1—2) и, следовательно, не может сама по себе служить в качестве критерия для градуировки электрического воздействия на сердце.

Как показали экспериментальные данные, при короткой длительности импульса — 2,5 мсек, которая используется в аппарате Лауна, требуются значительные напряжения и ток. Длительные воздействия 14,0 мсек и более требуют при дефибрилляции большого количества энергии. Очевидно поэтому, что короткие и длительные воздействия не будут оптимальными.

По данным нашего исследования, оптимальная длительность находится в пределах от 5,5 до 8,3 мсек. При такой продолжительности дефибрилляция сердца происходит при величинах напряжения и тока, близких к минимальным, а энергия разряда будет иметь наименьшее значение, следовательно, опасность повреждения сердца таким импульсом будет минимальной.

Согласно экспериментальным данным, можно заключить, что феномен электрической дефибрилляции сердца одиночным импульсом подчиняется закономерности сила — время раздражения для возбудимых тканей сердца. Основными критериями электрического воздействия на сердце является сила тока и его продолжительность. Оба эти параметра при дефибрилляции сердца сильным током находятся в обратной зависимости между собой вплоть до достижения «полезного времени» (10—15 мсек). Энергия разряда без учета его длительности не может служить в качестве оценки воздействия. Дозировку воздействия при электролечении аритмий сердца следует производить по силе тока или по напряжению на конденсаторе.
