

## РОЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, ДЛИТЕЛЬНОСТИ И ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА ПРИ ДЕФИБРИЛЛЯЦИИ СЕРДЦА

*В. А. Макарычев*

Лаборатория экспериментальной физиологии по оживлению организма (зав. — проф.  
В. А. Неговский) АМН СССР, Москва

(Поступила в редакцию 21/V 1965 г. Представлена действ. членом АМН СССР В. В. Париным)

Возможность дефибрилляции обнаженного сердца электрическими разрядами малой емкости и высокого напряжения (1,74 мкф, 20 000 в) показана Прево и Баттели в 1900 г. [13]. Позднее Н. Л. Гурвич установил важное значение фактора времени и роль общезвестных закономерностей возбуждения в феномене электрической дефибрилляции сердца [2—4]. В соответствии с этим было признано рациональным включение индуктивности в цепь разряда с целью увеличения его длительности и эффективности [2]. Эта схема легла в основу конструкции современных дефибрилляторов.

Рост применения импульсного дефибриллятора для лечения различных аритмий сердца придает исключительную важность вопросу о способе градуировки электрического воздействия на сердце. В дефибрилляторах советских систем продолжительность воздействия является постоянной (8—10 мсек) и близкой к «полезному времени» раздражения сердца, а дозировка производится по напряжению разряда на конденсаторе [1, 4, 5]. В «кардиовертере» Лауна отградуировано не напряжение, а энергия импульса [7, 8]. При объединении в этом понятии (энергия) параметров емкости и напряжения не принимается во внимание значение длительности импульса, что может привести к серьезным недостаткам в конструкции дефибриллятора.

В настоящей работе изучали взаимозависимость между продолжительностью, напряжением и энергией дефибриллирующего импульса. С этой целью исследовали сравнительные величины порогового напряжения и необходимого количества энергии при дефибрилляции сердца разрядами конденсаторов различной емкости через индуктивность.

### Методика опытов

Проведено 260 испытаний на 19 собаках весом 8—22 кг после введения им пантопона (4 мг/кг). Фибрилляцию желудочков вызывали воздействием переменного тока 127 в в течение 2 сек. через электроды-иглы, вколотые под кожу одной передней и контралатеральной задней конечности. Дефибрилляция сердца осуществлялась разрядом конденсатора через электроды диаметром 7—9 см. Электроды фиксировали в постоянном положении на правой и левой сторонах грудной клетки по линии расположения сердца.

Испытывали разряды конденсаторов емкостью: 1,6, 2, 4, 8, 16 и 40 мкф. При наличии в цепи индуктивности 0,4 генри и сопротивления около 100 ом (30 ом активного сопротивления катушки и до 70 ом сопротивления у животного) продолжительность

полупериода импульса составляла соответственно 2,5, 2,8, 4, 5,6, 8,3 и 14,5 мсек. Для измерения пороговой величины дефибриллирующего напряжения в течение 20—30 сек. после наступления фибрилляции производили 2—4 разряда при последовательном повышении напряжения до достижения эффекта дефибриляции. Величину порога напряжения для разряда конденсатора каждой емкости проверяли несколько раз при повторно вызываемой (через 10—15 мин.) фибрилляции желудочков. Максимальное напряжение, которым пользовались, равнялось 6000 в. У каждой собаки измеряли пороги напряжения для разряда конденсатора 16 мкф. Пороги напряжения для разрядов конденсаторов 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 до 6000 в). При расчете количества энергии разряда через животное общее количество энергии разряда, накопленной на конденсаторе  $\left(\frac{Cu^2}{2}\right)^1$ , уменьшали на  $\frac{1}{3}$ , учитывая величину активного сопротивления катушки индуктивности.

### Результаты опытов и их обсуждение

Повторные измерения минимальной (пороговой) величины дефибриллирующего напряжения показали, что эта величина сохранялась у каждой из подопытных собак на относительно постоянном уровне для разрядов конденсаторов одной емкости. При разрядах конденсаторов различной емкости величина порогового напряжения уменьшалась с возрастанием емкости конденсатора. Зависимость дефибриллирующего напряжения и энергии разряда от емкости конденсатора (по данным одного типичного опыта) показана в таблице.

*Зависимость дефибриллирующего напряжения и энергии от емкости конденсатора (по данным опыта на собаке весом 11 кг)*

	Емкость (в мкф)				
	1,6	2	4	8	16
Напряжение (в в)	6 000	5 400	3 900	2 700	2 000
Энергия (в вт-сек)	19,2	19,3	20,0	19,5	21,3

Аналогичную зависимость дефибриллирующего напряжения и энергии разряда от емкости конденсатора наблюдали у всех подопытных собак.

Величина порогового напряжения у разных собак была различной в зависимости от их веса и других индивидуальных особенностей. При емкости конденсатора 40 мкф величина порога колебалась в пределах 1100—2600 в, при 16 мкф — в пределах 1200—3200 в, при 8 мкф — в пределах 1650—4600 в, при 4 мкф — в пределах 2450—6000 в, при 1,6 мкф — в пределах 4300—6000 в.

Для более полного анализа полученных данных результаты опытов статистически обработаны по «коэффициенту наглядности». Величины дефибриллирующего напряжения и энергии при разряде конденсатора 16 мкф были приняты за единицу, а величины напряжения и энергии при разрядах конденсаторов других емкостей выражали соответственно их отношению к величинам напряжения и энергии при разряде конденсатора 16 мкф. На рис. 1 представлено распределение величин порога напряжения для разрядов конденсаторов разных емкостей у всех животных по «коэффициентам наглядности». Как видно из рис. 1, дефибриллирующее напряжение закономерно увеличивалось при уменьшении емкости конденсатора, т. е. при уменьшении длительности импульса. Так, оно увеличивалось по отношению к величине порога при разряде конденсатора емкостью 16 мкф следующим образом: при емкости

<sup>1</sup> C — емкость (в ф), U — напряжение (в в).

8 мкф — в 1,05—1,4, при 4 мкф — в 1,3—2,1, при 2 мкф — до 1,9—2,7, при 1,6 мкф — в 2,3—3,5. Порог напряжения при разряде конденсатора 40 мкф у разных собак составлял 0,7—0,8 величины порога при разряде конденсатора 16 мкф. Кривая зависимости напряжения от емкости конденсатора (длительности импульса) по данным распределения величин порогов у всех животных приведена на рис. 2 (кривая  $U$ ). Эта кривая носит экспоненциальный характер и имеет наибольшую крутизну в диапазоне малых емкостей — от 1,6 до 8 мкф (2,5—5,6 мсек), а при емкостях 16 и 40 мкф (8,3 и 14,5 мсек) приближается к линии, параллельной оси абсцисс.

Сопоставление энергии дефибрилирующего разряда показывает, что наименьшие величины энергии (в среднем 15—16 ватт-сек), были при разрядах конденсаторов малых емкостей (2,4 и 8 мкф). При разрядах конденсатора емкостью 16 мкф средняя величина энергии составила 20 ватт-сек.

Для разрядов конденсаторов малых емкостей пределы колебания энергии у разных собак были одинаковыми и составляли от 0,5 до 0,9 величины энергии при разряде конденсатора 16 мкф. Уровень энергии при разрядах конденсатора емкостью 40 мкф был всегда в 1,3—2 раза выше, чем при разряде конденсатора емкостью 16 мкф. Кривая зависимости дефибрилирующей энергии от емкости конденсатора по данным распределения энергии у всех животных по «коэффициентам наглядности» представлена на рис. 2 (кривая  $E$ ). Сопоставление на одном рисунке кривых, отображающих зависимость напряжения и дефибрилирующей энергии от емкости конденсатора (длительности импульса) показывает, что при закономерном увеличении порога напряжения с уменьшением емкости конденсатора величина энергии снижалась при уменьшении емкости с 40 до 8 мкф и оставалась на одном уровне для емкостей 1,6—8 мкф.

Анализ взаимоотношений между напряжением и емкостью разрядов при дефибриляции сердца показывает, что между этими величинами существует обратная зависимость: при уменьшении емкости для дости-

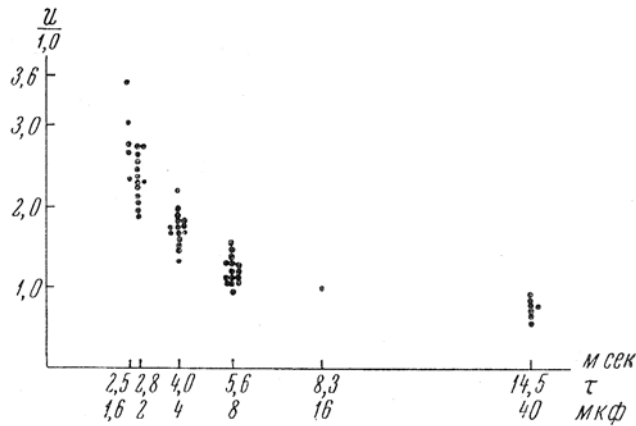


Рис. 1. Распределение величин дефибрилирующего напряжения для разных емкостей — длительностей импульса по результатам всех опытов.

По горизонтали отложена длительность импульса и емкость разряда; по вертикали для каждой емкости точкой обозначен порог напряжения у животного (по отношению к единице, за которую принята величина порога при 16 мкф).

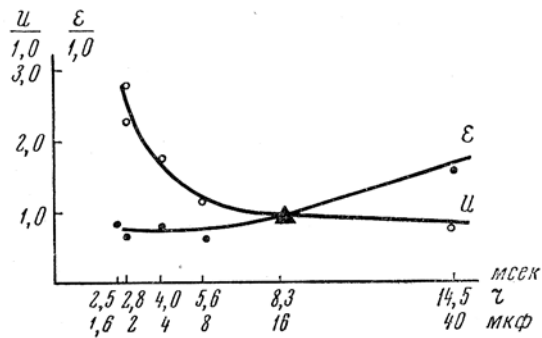


Рис. 2. Кривые зависимости средних величин дефибрилирующего напряжения ( $U$ ) и энергии ( $E$ ) от длительности импульса — емкости разряда.

По оси абсцисс — длительность импульса (в мсек) и соответствующая ей емкость разряда (в мкф); по оси ординат — напряжение и энергия (в долях единицы, за которую принята средняя величина напряжения и энергии при емкости 16 мкф).

жения эффекта нужно увеличивать напряжение. Кривая этой зависимости имеет экспоненциальный характер и напоминает кривую, отображающую зависимость между временем и силой электрического раздражения, установленную в результате классических исследований закономерностей возбуждения различных тканей организма [6, 7, 14]. Зависимость дефибриллирующего напряжения от емкости конденсатора была ранее изучена для разрядов при отсутствии индуктивности [3].

Установленная нами кривая зависимости между напряжением и емкостью конденсатора при разрядах через индуктивность показывает, что «полезное время» находится несколько за пределами длительности разряда конденсатора емкостью 16 мкф (8,3 мсек). Однако на этом отлогом участке кривой напряжение возрастает относительно медленно, и поэтому при уменьшении емкости до 8 мкф (5,6 мсек) энергия разряда заметно снижается. С дальнейшим снижением емкости до 4 и 2 мкф (4 и 2,8 мсек соответственно) величина энергии дефибриллирующего разряда остается на одинаковом уровне. Из этих данных следует, что выбор оптимальной продолжительности в этом узком диапазоне не может основываться на параметре энергии, поскольку этот параметр существенно не меняется. Здесь приобретает более важное значение параметр напряжения.

Ряд исследователей [4, 10—12] установил, что степень вредного влияния электрического разряда на сердце в большей мере определяется напряжением, чем продолжительностью разряда. Учитывая, что величина напряжения минимальна при наибольшей величине емкости, приходим к неизбежному выводу, что при равной энергии разряда оптимальным является тот импульс, который наиболее продолжителен. В нашем случае это соответствует разряду емкости 8 мкф (5,6 мсек), который дефибриллирует сердце при меньшей величине напряжения по сравнению с разрядами меньших емкостей (4,2 мкф), обладающих равным количеством энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акопян А. А., Гурвич Н. Л., Жуков И. А. и др. Электричество, 1954, № 10, с. 43.—2. Гурвич Н. Л. В кн.: Рефераты работ учреждений отделения биологических наук АН СССР за 1940 г. М.—Л., 1941, с. 375.—3. Гурвич Н. Л. Бюлл. exper. биол., 1943, т. 17, с. 66.—4. Гурвич Н. Л. Фибрилляция и дефибрилляция сердца. М., 1957.—5. Неговский В. А. Оживление организма и искусственная гипотермия. М., 1960.—6. Hoogweg I. L., Pflüg. Arch. ges. Physiol., 1892, Bd 52, S. 87.—7. Lapicque L. L'excitabilité en fonction du temps. Paris, 1926.—8. Lown B., Amarasingham R., Neuman J., J. A. M. A., 1962, v. 182, p. 548.—9. Lown B., Mod. Conc. cardiovasc. Dis., 1964, v. 33, p. 863.—10. Mackey R. S., Leeds S. E., J. appl. Physiol., 1953, v. 6, p. 67.—11. Peleska B., Rozhl. Chir., 1957, т. 36, S. 731.—12. Idem, Agressologie, 1963, v. 4, p. 483.—13. Prevost J. L., Battelli F., J. de Physiol. Path. gén., 1900, v. 2, p. 40.—14. Weis M. G., C. R. Soc. Biol., 1901, v. 53, p. 253.

#### THE ROLE OF THE TENSION, DURATION AND ENERGY OF THE ELECTRICAL PULSE IN CARDIAC DEFIBRILLATION

V. A. Makarychev

Laboratory of Experimental Physiology in Body Resuscitation (Head: Prof. Negovsky)

Experiments on 19 dogs were used to carry out 260 tests in measuring the values of threshold tension eliminating ventricular fibrillation of the heart in a closed thorax for discharges of variable capacity — 1.6; 2; 4; 8; 16; and 40 m. f. through constant inductance 0.4 henries. The pulse duration depended on the capacity value and was 2.5, 2.8, 4.0, 5.6, 8.3 and 14.5 msec respectively.

The investigation showed the existence of a reverse relationship between the threshold of defibrillating tension and the value of capacity — pulse duration. At the same time, the discharge energy grew only at large capacities (16 and 40 m. f.) and was approximately the same at small capacities (from 1.6 to 8 m. f.). The most optimum was a discharge of 8 m. f. capacity and 5.6 msec duration at which defibrillation was effected with the least energy expense and an insignificant increase of tension.