

## Сравнительная эффективность одиночного электрического импульса и переменного тока для дефибрилляции сердца при электротравме

Доктор медицинских наук Н. Л. ГУРВИЧ, ГАЙ НИКЕРБОККЕР и В. А. МАКАРЫЧЕВ

Лаборатория экспериментальной физиологии по оживлению организма  
АМН СССР; Физическая лаборатория хирургической клиники  
Университета им. Джона Хопкинса, Балтимор, США

Возможность применения сильного электрического тока (контршока) для оживления организма при электротравме была установлена в 1899 г. [Л. 1]. Позднее было показано, что принцип действия контршока заключается в синхронизации возбуждения отдельных групп волокон сердечной мышцы, которые находятся в состоянии асинхронных — фибриллярных — сокращений. Изучение закономерностей электрической дефибрилляции (устранения фибрилляции) сердца показало, что оптимальным для этой цели является одиночный электрический импульс продолжительностью порядка 8—10 мсек [Л. 2]. Исходя из этого, был сконструирован в 1952 г. импульсный дефибриллятор промышленного типа (ИД-1-ВЭИ [Л. 3], которым сейчас широко пользуются для дефибрилляции желудочков и лечения аритмий сердца. Аналогичные аппараты созданы в Чехословакии в 1957 г. и в США в 1962 г.

Несмотря на признание преимуществ одиночного импульса по сравнению с применяемым еще и сейчас способом дефибрилляции сердца с помощью переменного тока, для многих остается еще неясным вопрос о сравнительной эффективности этих двух способов. Неясность в этом вопросе в значительной степени обусловлена различными числовыми обозначениями напряжения параметров разряда и переменного тока. Это обстоятельство, а также то, что применяется чрезмерно длительное воздействие переменного тока (до 1 сек), создает ложное впечатление о различном характере этих двух видов контршока.

Задачей настоящей работы являлось сравнительное изучение тока и напряжения при дефибрилляции сердца одиночным электрическим импульсом и более продолжительным воздействием переменного тока 50 гц. Дальнейшее изучение закономерностей электрической дефибрилляции сердца приобретает в настоящее время несомненный практический интерес в связи с намечающейся перспективой применения контршока при оживлении после электротравмы. Выяснение этих закономерностей имеет важное значение для конструирования портативного дефибриллятора. Наряду с новыми методами оживления (наружный массаж сердца и

искусственное дыхание вдуванием воздуха «изо рта в рот»), это должно решить задачу оказания помощи во всевозможных случаях поражения электрическим током и при внезапной смерти по другим причинам.

Экспериментальная часть работы была проведена осенью 1963 г. совместно с сотрудником физической лаборатории хирургической клиники университета им. Джона Хопкинса (США).

**Методика.** Испытания по дефибрилляции были проведены на 17 собаках весом от 6 до 15,5 кг. Дефибрилляция желудочков у собак вызывалась воздействием переменного тока (50 гц, 127 в) в течение 3 сек при помощи электродов в виде игл, вколотых под кожу передней и задней лап. Дефибрилляция сопровождалась падением артериального давления и появлением характерных для этого состояния фибриллярных осцилляций на электрокардиограмме.

Дефибрилляция производилась последующим воздействием на сердце разряда конденсатора или переменного тока (50 гц) через круглые электроды (диаметром 6—8 см), которые накладывались на выбритую кожу с правой и левой стороны грудной клетки по линии проекции сердца. С целью обеспечения контакта и постоянного положения (что важно для сохранения постоянного значения дефибриллирующего тока), электроды были прижаты к грудной клетке туго натянутой эластичной резиновой лентой.

Пороговое значение дефибриллирующего тока устанавливалось путем последовательных испытаний электрических воздействий нарастающего напряжения. С этой целью в течение 30—40 сек после наступления фибрилляции производились 2—4 воздействия при увеличении напряжения каждого последующего воздействия до достижения эффекта дефибрилляции. Установленное значение порога дефибриллирующего тока проверялось для каждого вида испытуемого тока 2—3 раза при повторно вызванной (через 10—15 мин) фибрилляции желудочков. У всех 17 собак определялся порог дефибриллирующего переменного тока 50 гц при напряжении до 420 в (продолжительность воздействия варьировалась от 0,05 до 0,5 сек) и порог одиночного импульса в 8 мсек при разряде конденсатора 16 мф через индуктивность 0,3 г. У 12 собак испытывались также импульсы в 10 и 6,5 мсек, полученные при разрядах емкости 24 и 8 мф через ту же индуктивность. Схема генератора одиночных импульсов приведена на рис. 1.

Всего было проведено на 17 собаках 68 испытаний по дефибрилляции сердца переменным током и 110 — по дефибрилляции разрядами конденсатора. Общее число воздействий тока на животное превышало примерно в 2,5 раза число испытаний

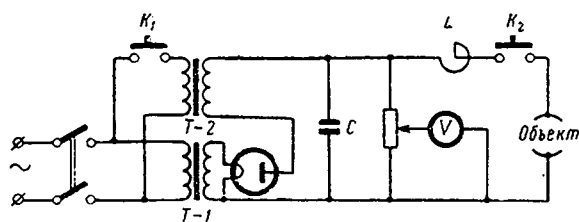


Рис. 1. Схема импульсного генератора, питаемого от сети. Емкость  $C$  равна 8, 16 и 24 мкф; индуктивность  $L=0,3$  г (активное сопротивление катушки 29 ом).

по определению порогового значения дефибриллирующего тока. Во время опыта записывались артериальное давление в бедренной артерии (посредством ртутного манометра) и дыхательные движения грудной клетки на кимографе. Эффекты электрических воздействий на сердце наблюдались также на записи электрокардиограммы. Испытуемые токи записывались посредством шлейфовых вибраторов № 1 и 2 (частота осцилляций 10 000 и 5 000 гц) на осциллографе типа МПО-2.

Экспериментальные результаты. Характеристика испытываемых токов. Испытуемые электрические импульсы при разряде конденсатора через индуктивность в 0,3 г имели вид быстро затухающего колебательного разряда с частотой 50, 63 и 88 гц соответственно при емкости конденсатора 24, 16 и 8 мкф; при этом сопротивление в цепи составляло около 80—100 ом (сопротивление животного — 50—70 ом и активное сопротивление катушки 29 ом). Отношение амплитуды тока или напряжения  $n$ -го и  $(n-1)$ -го полупериодов составляло 0,2 : 1—0,5 : 1 в зависимости от емкости и частоты разряда (таким образом, считать одиночный импульс постоянным током неправильно).

Как показывают теоретические предпосылки и данные эксперимента [Л. 4], реакция сердца на действие переменного тока 50 гц определяется суммой амплитуд обеих фаз тока. Предполагая, что эта закономерность имеет место и в отношении колебательного разряда, при оценке сравнительной эффективности того и другого тока мы принимали в расчет сумму амплитуд тока или напряжения двух полупериодов. Отношение суммы двух амплитуд переменного тока к его эффективному значению составляет 2,82 раза. При разряде конденсатора и наличии в цепи индуктивности 0,3 г значение напряжения на объекте в 3—4 раза ниже напряжения на конденсаторе. Следовательно, для сравнительной оценки напряжения на объекте при воздействии переменного тока и разряда конденсатора следует перемножить эффективное значение напряжения переменного тока на коэффициент 8,5 (результат перемножения 2,82 на отношение напряжения разряда на конденсаторе к значению действительного напряжения разряда на объекте, принятое равным 3). Поэтому при указанных условиях переменный ток при напряжении 220 в равен по своему значению (и физиологическому действию) току разряда конденсатора 16 мкф при напряжении 1 900 в, а переменный ток при напряжении 440 в соответствует разряду с напряжением 3 800 в и т. д. (рис. 2).

Пороговые значения дефибриллирующего тока. 1. *Одиночный импульс.* Многократные измерения порогового значения дефибриллирующего тока на одном и том же животном показали, что это значение сохраняется примерно постоянным при неизменных условиях опыта (постоянное положение электродов, небольшая длительность фибрилляции и равные интервалы между отдельными испытаниями). Например, дефибрилляция сердца у собаки весом 7 кг одиночным импульсом в трех испытаниях при продолжительности фибрилляции до 45 сек происходила при напряже-

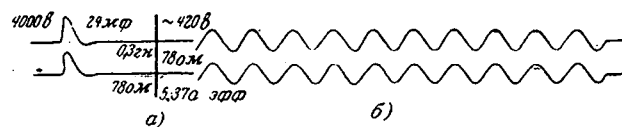


Рис. 2. Осциллограммы тока и напряжения. а — для одиночного импульса в схеме рис. 1 при разряде емкости 24 мкф через сопротивление 78 ом; б — для переменного тока при напряжении 420 в и сопротивлении 78 ом.

нии разряда на конденсаторе 1 500 в; наибольшее недефибриллирующее напряжение разряда составляло 1 300 в. При более продолжительной фибрилляции — 70 сек — значение порога повысилось: наименьшее напряжение дефибриллирующего разряда было 3 000 в, наибольшее недефибриллирующее напряжение — 2 500 в. Действительные значения напряжения на объекте (по сумме амплитуд обеих фаз) составляли 520 в при разряде 1 500 в и 965 в при разряде с напряжением 3 000 в; ток соответственно равнялся 7,7 и 15,8 а.

Пороговое значение дефибриллирующего тока у разных собак сильно зависело от веса и других особенностей подопытного животного. Наименьшее значение дефибриллирующего тока — 4,6 а — было у собаки весом в 6 кг, наибольшее — 12,9 а — у собаки весом 14 кг. Распределение пороговых значений дефибриллирующего тока у 16 подопытных собак при разрядах емкостей 24, 16 и 8 мкф представлено в виде диаграммы на рис. 3. Каждая клетка на диаграмме показывает значение дефибриллирующего тока (соответственно местоположения по горизонтали) у отдельных собак. Незаштрихованный квадрат — наибольший недефибриллирующий ток, заштрихованный — наименьший дефибриллирующий ток.

В правой части диаграммы — осциллограммы тока и напряжения наименьшего дефибриллирующего тока у собаки весом 14 кг: при разряде 24 мкф — 8,3 а, 16 мкф — 9,3 а и 8 мкф — 11,5 а. Дефибриллирующий переменный ток равен 14 а. Как видно из диаграммы, пороговые значения дефибриллирующего тока существенно не различа-

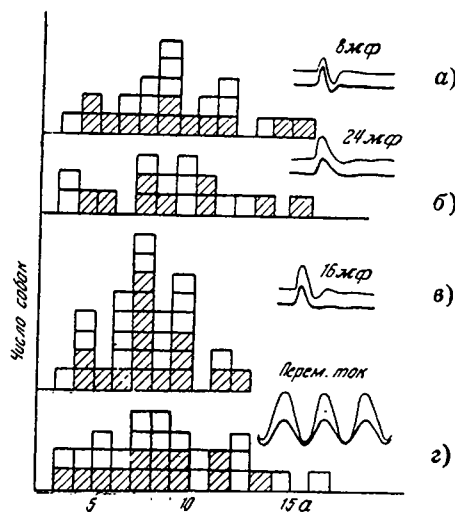


Рис. 3. Пороговые значения дефибриллирующего тока у 17 собак. а-в — для одиночного импульса при разряде емкости 8, 24 и 16 мкф; г — для переменного тока.

ются для импульсов продолжительностью в 10, 8 и 6 мсек.

2. *Переменный ток.* Пороговое значение дефибриллирующего переменного тока находилось примерно в тех же пределах, которые были установлены для одиночного импульса, и изменялось от 4 до 14 а у разных собак при среднем значении 8,8 а. У отдельных собак значение порога для переменного тока была несколько ниже, чем для одиночного импульса, у других — несколько выше. Сопоставление с результатами, полученными при дефибрилляции сердца одиночными импульсами, позволяет отметить следующие особенности действия переменного тока.

а) Отсутствие строго определенного значения порога, выразившееся в том, что при повторных испытаниях часто оказывался неэффективным ток, который прекратил фибрилляцию в предшествовавшем испытании.

б) Безуспешность попыток дефибрилляции сердца переменным током у четырех из девяти подопытных собак с весом более 10 кг, даже при наибольшем напряжении 420 в. Наибольший недефибриллирующий ток при этом достигал 12,7; 15,1; 12,6 и 17,1 а при весе собак 10, 10, 12 и 14 кг соответственно. У всех этих четырех собак сердце было дефибриллировано последующим разрядом конденсатора, несмотря на большую продолжительность фибрилляции к моменту разряда. Сила дефибриллировавшего тока одиночного импульса была 12,1; 10,5 и 12,9 а (у одной из собак ток не был осциллографирован), т. е. ниже недефибриллировавшего переменного тока.

В ряде испытаний при отсутствии эффекта от однократного воздействия переменного тока дефибрилляция сердца достигалась последующими «серийными» воздействиями. Попытки повышения эффективности переменного тока путем увеличения его продолжительности оставались безрезультатными.

*Обсуждение и выводы.* Измерения минимальных (пороговых) значений дефибриллирующего тока показали, что порог сохраняется на относительно постоянном уровне при последовательных испытаниях по дефибрилляции сердца одиночным импульсом у одной и той же собаки. Менее постоянным является порог при дефибрилляции сердца переменным током, что можно объяснить, по-видимому, значением фазы тока в момент включения (или от-

ключения). Принимая наименьшее значение переменного тока, дефибриллировавшего сердце в ряде испытаний за порог, мы нашли близкое его совпадение со значением порога при дефибрилляции сердца одиночным импульсом. Такое совпадение указывает на отсутствие принципиального различия в реакции сердца на действие того или иного тока. Это предположение подтверждается тем фактом, что при ограничении продолжительности переменного тока в пределах двух-трех периодов (0,04—0,06 сек) не наблюдалось заметного снижения его эффективности.

Одинаковые значения дефибриллирующего тока при одиночном импульсе и при воздействии на сердце переменного тока различной продолжительности указывает на единый механизм прекращения фибрилляции сердца под действием различных видов тока. На этом основании можно полагать, что дефибрилляция сердца переменным током также происходит в результате возбуждающего эффекта электрического раздражения, как это имеет место в случае одиночного импульса [Л. 2]. Отсюда следует, что в случае дефибрилляции сердца переменным током его продолжительность должна быть ограничена в пределах одного периода (не более 0,02 сек). Следует отметить, что недавно появились сообщения об ограничении продолжительности переменного тока до 0,05—0,02 сек при дефибрилляции сердца в клинике [Л. 5]. Такое ограничение следует признать рациональным, поскольку более продолжительное действие переменного тока не облегчает дефибрилляцию, а, наоборот, способствует нарушению функций сердца и затрудняет восстановление его нормальной деятельности [Л. 2 и 6].

#### Литература

1. Prevost J., Battelli F., J. Physiologie et Pathologie gen., 1899, № 1.
2. Гурвич Н. Л., Фибрилляция и дефибрилляция сердца, Медгиз, 1957.
3. Акопян А. А., Гурвич Н. Л., Жуков И. А. и Неговский В. А., «Электричество», 1954, № 10.
4. Гурвич Н. Л., Акопян А. А. и Жуков И. А., Вопросы электропатологии и электротравматизма, 1961, вып. 1, Фрунзе.
5. Eiferl S., Grosse-Brockhoff F., Deutsche med. Wochenschrift, 1963, 88, № 45.
6. Peleska B., Circul. Resears. 1963, № 13.

[11.6.1965]

