

БЕЗОПАСНАЯ ВЕЛИЧИНА НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОЛЕЧЕНИИ АРИТМИЙ СЕРДЦА

Н. Л. Гурвич, М. С. Богушевич, В. Я. Табак, И. В. Венин

Лаборатория экспериментальной физиологии по оживлению организма (руководитель — член-корр. АМН СССР В. А. Неговский) АМН СССР, Москва

Поступила 25/VI 1971 г.

Попытка устранить аритмию сердца разрядом недостаточного напряжения представляет известную опасность. При случайном совпадении импульса с «уязвимой» фазой сердца (окончанием систолы) может наступить фибрилляция желудочков. Эта опасность значительно уменьшается при силе импульса, превышающей пороговую величину дефибриллирующего тока (Feggis и соавт.; Воцвгайн). Во избежание этой опасности была предложена синхронизация разряда с определенной фазой сердечного цикла вне «уязвимой» фазы (Lown). Имеются, однако, указания на случаи возникновения фибрилляции желудочков при электролечении аритмий сердца и с помощью кардиосинхронизатора (Killip).

Задача настоящей работы — выяснить вероятность наступления фибрилляции желудочков в зависимости от величины напряжения разряда. С этой целью изучали статистическую вероятность наступления фибрилляции желудочков при многократных воздействиях на сердце разрядами разного напряжения без кардиосинхронизации (I серия опытов) и при нанесении их в «уязвимую» фазу сердца с помощью кардиосинхронизатора (II серия). В последней серии опытов определяли также соотношение между величинами напряжения разряда, вызывающего фибрилляцию, и величинами дефибриллирующего напряжения.

Очевидно, что решение вопроса о пределах величины безопасного напряжения должно явиться вместе с тем и ответом на вопрос о степени необходимости кардиосинхронизации при электролечении аритмий сердца.

М а т е р и а л и м е т о д ы

Опыты проводили на взрослых собаках обоего пола. До опыта им вводили под кожу 2% раствор пантопона из расчета 8 мг сухого вещества на 1 кг веса животного. На грудную клетку накладывали электроды дефибриллятора в обычном для дефибрилляции сердца положении. Разряды дефибриллятора с напряжением 0,5—7,0 кВ испытывались на нормально работающем сердце через интервалы в 1—2 мин. Эффект разряда контролировали по ЭКГ и записи артериального давления. При наступлении тяжелых нарушений ритма сердца — желудочковой тахикардии, предсердно-желудочковой блокады, фибрилляции желудочков — интервалы между испытаниями удлиняли до 5—10 мин., пока не восстанавливалась нормальная гемодинамика и исходный вид ЭКГ. В случае наступления фибрилляции желудочков ее устраняли тем же дефибриллятором, определяя при этом пороговую величину дефибриллирующего напряжения разряда.

I серия опытов была проведена на 12 собаках весом 6—14 кг. Испытывали разряды (модифицированного аппарата типа ИД-1-ВЭИ) различного напряжения (1—6 кВ), которые наносили независимо от фазы сердечного цикла. Общее число испытываемых импульсов у некоторых собак превышало 100 в течение опыта.

Основная часть опытов II серии была проведена на 3 крупных собаках весом: № 1—20 кг, № 2—21 кг и № 3—18 кг. На одной из них опыт повторяли трижды через 5-дневный промежуток, на второй — 2 раза; всего было проведено 6 опытов. Все разряды в этой серии опытов наносили в фазу T сердечного цикла с помощью кардиосинхронизатора первой модели (1968) дефибриллятора ДКИ-01. Эта модель генерировала двухфазные импульсы с соотношением амплитуд тока обеих полуволн 1:1. При такой форме разряда импульс имел значительно меньшую амплитуду тока по сравнению с импульсом ИД-1-ВЭИ при одинаковом напряжении заряда конденсатора, что следует иметь в виду при сопоставлении величин напряжения и эффекта их действия в опытах I и II серий.

Р е з у л ь т а т ы

В I серии опытов испытывали разряды напряжением 1 кВ, не достигающим пороговой величины для дефибрилляции сердца, 2 кВ и разряды с более высоким напряжением — 3—6 кВ (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Частота наступления фибрилляции желудочков в зависимости от напряжения разряда (I серия опытов)

| № опы-та | Вес со-баки (в кг) | Напряжение разряда (в кв) | | | | | | | |
|-------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|
| | | 1,0 | | 2,0 | | 3,0—4,0 | | 5,0—6,0 | |
| | | число испытаний | | | | | | | |
| | | всего | наступи-ла фиб-рилляция | всего | наступи-ла фиб-рилляция | всего | наступи-ла фиб-рилляция | всего | наступи-ла фиб-рилляция |
| 1 | 9 | | | | | 15 | 0 | 9 | 1 |
| 2 | 9 | | | | | 32 | 0 | 18 | 5 |
| 3 | 14 | | | | | 19 | 0 | 10 | 0 |
| 4 | 11 | | | 36 | 0 | 15 | 0 | 6 | 2 |
| 5 | 10 | | | 87 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 6 | 9 | | | 100 | 0 | | | | |
| 7 | 10 | | | 30 | 1 | 7 | 0 | 4 | 0 |
| 8 | 9,5 | | | 105 | 1 | 5 | 0 | 2 | 0 |
| 9 | 11,5 ¹ | | | 100 | 0 | | | | |
| 10 | 8 | 5 | 1 | 30 | 0 | | | | |
| 11 | 10 ¹ | 90 | 6 | 30 | 0 | | | | |
| 12 | 6 | 84 | 0 | 52 | 0 | | | | |
| 13 | 13 | 70 | 7 | 50 | 0 | | | | |
| Итого . . . | | 249 | 14 | 620 | 3 | 96 | 0 | 50 | 8 |

¹ Испытания проведены на одной и той же собаке.

1. *Эффект действия разрядов подпорогового напряжения.* Разряды напряжением 1 кв были испытаны на 4 собаках (№ 10—13; см. табл. 1). Эти разряды обычно вызвали синусовую тахикардию. Из общего числа 249 испытанных разрядов 14 вызвали фибрилляцию желудочков (5,6%). У 1 из этих собак, которая была взята в опыт дважды, в 90 испытаниях фибрилляция желудочков наступала 6 раз. Предшествующие 100 испытаний действия разрядов с напряжением 2 кв. фибрилляции ни разу не вызвали.

2. *Эффект действия разрядов пороговой величины.* Разряды с напряжением 2 кв (равным дефибриллирующему) были испытаны на 10 собаках. Всего было проведено 620 испытаний. Фибрилляция желудочков наблюдалась только 3 раза (у собак № 5, 7 и 8), что составляет 0,5% общего числа испытаний. В остальных случаях наступала кратковременная синусовая тахикардия.

3. *Эффект действия разрядов более высокого напряжения.* Разряды напряжением 3—4 кв были испытаны 96 раз на 7 собаках. Ни в одном случае фибрилляция желудочков не возникла. На этих же собаках были испробованы также 50 разрядов с напряжением 5—6 кв. Такие разряды в отличие от предыдущих вызвали значительное нарушение проводимости вплоть до блокады одной из ножек пучка Гиса или же полной поперечной блокады. Наблюдались и более тяжелые нарушения — приступы пароксизмальной тахикардии и фибрилляция желудочков. Последняя наблюдалась у собак (№ 1, 2 и 4) 8 раз после воздействия разрядами напряжением 5—6 кв, что составляет 16% общего числа испытаний разрядов высокого напряжения.

Напряжение разрядов, испытанных по II серии опытов, варьировало от 0,5 до 7,0 кв (табл. 2). Из общего числа 448 испробованных разрядов 359 имели напряжение от 1 до 3,5 кв. Эти разряды в 109 (31%) испытаниях вызвали фибрилляцию желудочков. 89 испытаний разрядов большего напряжения (3,5—7 кв) к фибрилляции не приводили. Индивидуальные вариации величин напряжения разрядов, вызвавших фибрилляцию же-

Т а б л и ц а 2

Наступление фибрилляции желудочков и напряжение разрядов, нанесенных в «уязвимую» фазу сердца (II серия опытов)

| № опыта | № собаки | Дата опыта | Напряжение разряда (в кв) | Число испытаний | | Дефибриллирующее напряжение (в кв) |
|---------|----------|------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | | всего | наступила фибрилляция | |
| 1 | 1 | 15/IX | 0,8—2,7 | 60 | 28 | 2,7—2,0 |
| | | | 3,0—4,0 | 30 | 0 | |
| 2 | 2 | 19/IX | 1,2—1,75 | 5 | 0 | 3,5—2,5 |
| | | | 2,0—3,2 | 76 | 15 | |
| | | | 3,3—3,5 | 14 | 0 | |
| 3 | 1 | 19/IX | 0,4—0,55 | 2 | 0 | 3,5—2,5 |
| | | | 0,65—3,4 | 45 | 20 | |
| | | | 3,5—3,75 | | | |
| 4 | 2 | 22/IX | 1,0—3,3 | 2 | 0 | 3,6—2,5 |
| | | | 1,4—3,5 | 53 | 7 | |
| 5 | 1 | 24/IX | 0,5—0,65 | 5 | 0 | 3,0—2,6 |
| | | | 0,75—3,1 | 53 | 17 | |
| 6 | 3 | 26/IX | 0,5—0,85 | 4 | 0 | 2,5—4,0 |
| | | | 0,9—4,0 | 52 | 22 | |
| | | | 4,1—7,0 | 31 | 0 | |

лудочков, были следующие: у собаки № 1 она возникала при напряжении 0,65—3,4 кв, у собаки № 2 — от 1,4 до 3,4 кв, у собаки № 3 — от 0,9 до 4 кв.

Минимальная величина дефибриллирующего напряжения разряда у этих собак варьировала от 2,0 до 3,5 кв. Пороговая величина его во всех опытах (за исключением опыта № 6) была наибольшей в начале испытаний, а затем постепенно снижалась.

Сопоставление максимальной величины напряжения разрядов, вызывавших фибрилляцию, и пороговых величин дефибриллирующего напряжения показало следующее. В 5 опытах на собаках № 1—2 величина дефибриллирующего напряжения в большинстве испытаний превышала напряжение разрядов, вызывавших фибрилляцию желудочков. Снижение порога дефибриллирующего напряжения по мере продолжения испытаний сопровождалось также снижением величин максимального напряжения разрядов, вызывавших фибрилляцию. В 2 опытах (№ 3 и 5) к концу испытаний максимальное напряжение разрядов, приводивших к фибрилляции, превышало величину дефибриллирующего напряжения (см. рисунок).

Исключение составила собака № 3 (опыт № 6), у которой на протяжении ряда испытаний величина дефибриллирующего напряжения была ниже максимального напряжения разрядов, вызывавших фибрилляцию (3,0 и 3,5 кв соответственно).

Таким образом, максимальные величины напряжения разрядов, вызывавших фибрилляцию, были, как правило, ниже величины дефибриллирующего напряжения. Снижение его порога по мере продолжения опыта сопровождалось также одновременным снижением максимального напряжения разряда, вызывавшего фибрилляцию желудочков.

О б с ж д е н и е

Результаты опытов I серии, в которой испытывались более мощные разряды на мелких собаках, показали, что имеется 2 уровня напряжения, способных вызывать фибрилляцию желудочков: 1) при «низких» напряжениях, не достигающих порогового значения для дефибрилляции сердца, и 2) при более высоких напряжениях, превышающих этот порог в 3—4 раза. При напряжениях, превышающих порог дефибрилляции в 1,2—2,5 раза, фибрилляции желудочков не наблюдалось.

Надо полагать, что наступление фибрилляции желудочков под действием разрядов высокого напряжения (5—6 кв) не связано с «уязвимой»

фазой сердца. На это указывает более частое наступление фибрилляции (16%) по сравнению с действием разрядов низкого напряжения (5,6%). Можно полагать, что в данном случае фибрилляция развивается в результате нарушения внутрижелудочковой проводимости, способствующей возврату возбуждения, возникновению экстрасистолии и пароксизмальной желудочковой тахикардии. Эти нарушения закономерно наступают после действия разрядов высокого напряжения и часто заканчиваются фибрилляцией.

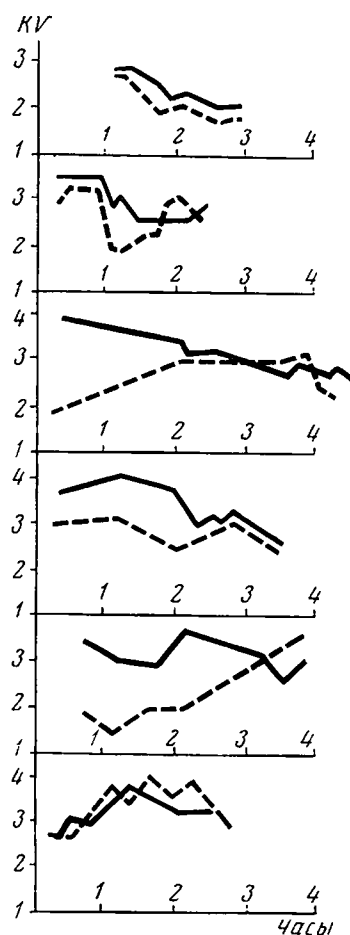
Опыты II серии преследовали цель более точно определить соотношение величины максимального напряжения разряда, вызывающего фибрилляцию, и пороговой величины дефибриллирующего напряжения. С этой целью воздействия наносились в «уязвимую» фазу сердца. Результаты опытов позволили установить, что, как правило, дефибриллирующее напряжение несколько превышает напряжение, вызывающее фибрилляцию. Исключение наблюдалось в одном опыте (№ 6), в котором максимальное напряжение, вызывавшее фибрилляцию, превышало дефибриллирующее во всех испытаниях. В остальных опытах такое явление носило эпизодический характер и было обусловлено колебаниями пороговых величин дефибриллирующего и повреждающего напряжения после многократных и частых испытаний.

Тот факт, что величина опасного напряжения может иногда превысить величину дефибриллирующего, не имеет существенного значения в клинической практике, поскольку пороговую величину дефибриллирующего напряжения у больного все равно трудно определить заранее с достаточной степенью точности. Гораздо существенней для клиники то, что напряжение, превышающее порог дефибрилляции в 1,25 раза, становится безопасным, не вызывает фибрилляции и позволяет проводить электролечение без кардиосинхронизации. Можно полагать, что этому требованию удовлетворяет разряд напряжением 3,5—4,0 кв у больных среднего телосложения при обеспечении надежного контакта между электродами и грудной клеткой больного.

В ы в о д ы

1. Разряды, нанесенные в «уязвимую» фазу сердца, способны вызвать фибрилляцию желудочков при напряжениях, составляющих 25—125% минимальной (пороговой) величины напряжения дефибриллирующего разряда. Вероятность поражения сердца разрядами указанного напряжения при отсутствии кардиосинхронизации у отдельных собак достигала 10%.

2. Напряжение разряда, превышающее дефибриллирующее в 1,25—2,5 раза, не способно вызывать фибрилляцию при воздействии в любую фазу сердечного цикла.



Пороговая величина дефибриллирующего напряжения (сплошная линия) и максимальная величина напряжения, вызывающего фибрилляцию при воздействии в «уязвимую» фазу сердца (штриховая линия), в опытах № 1—6.

По вертикали — напряжение в кв; по горизонтали — время от начала проведения испытаний.

3. Разряды более высокого напряжения, превышающего дифибриллирующее в 3—4 раза и вызывающего закономерно нарушения внутрижелудочковой проводимости, могут одновременно служить причиной развития фибрилляции желудочков независимо от момента сердечного цикла, на который приходится электрическое воздействие.

ЛИТЕРАТУРА

Bouvrain J., Presse med., 1967, v. 75, p. 323. — Ferris L. P., King B. C., Spense F. W. et al. Electrical Eng., 1936, v. 55, p. 498. — Killip T., J.A.M.A., 1963, v. 186, p. 1. — Lown B., Amarasingham R., Neuman J. Ibid., 1962, v. 182, p. 548.

SAFE VOLTAGE IN ELECTRIC TREATMENT OF CARDIAC ARRHYTHMIAS

N. L. Gurvich, M. S. Bogushevich, V. Ya. Tabak, I. V. Venin

S u m m a r y

The statistical probability of ventricular fibrillation at different discharge voltages was studied in tests on adult dogs. The impulse defibrillator discharges were applied to the heart transthoracically without cardiosynchronization and with synchronization of the discharge with the vulnerable phase of the heart. Ventricular fibrillation supervened with the discharge voltage comprising 25 to 125% of the minimal defibrillating tension in 5.6% of the tests. Discharge tensions exceeding defibrillating ones by as many as 1.5—2.5 times did not produce fibrillation, even when applied to the vulnerable phase of the heart. Discharges at a tension surpassing the defibrillating one by 3—4 times caused, along with disruption of the intraventricular conduction, fibrillation in 16% of the tests. Hence the electric impulse therapy without cardiosynchronization is comparatively safe, provided discharges not inferior to 3.5—4.0 Kv are applied to patients of medium-strong body built and a reliable contact between electrodes and the chest of the patient is secured.