

Про оптимальну форму дефібрилюючого струму

Я. П. Чеботарьов і В. Г. Ніколаєв

Кафедра нормальної фізіології Луганського медичного інституту

Припинення фібриляції серця сильним електричним подразненням є тепер загально визнаним методом. Дедалі більшого поширення набуває електроімпульсна терапія аритмії серця.

Але розв'язання цієї проблеми не можна вважати завершеним в зв'язку з відсутністю єдиної точки зору в питанні про оптимальну форму і параметри дефібрилюючого електричного впливу. В багатьох лабораторіях і клініках апробовані різні види дефібрилюючих струмів,

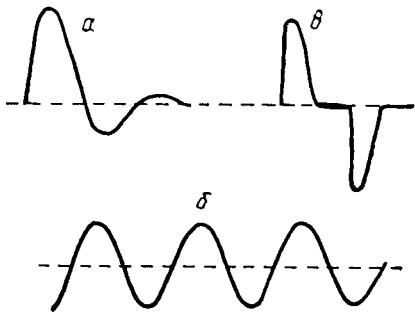


Рис. 1. Основні види дефібрилюючого струму:

a — несиметричний за амплітудою першої і другої півхвилі імпульс; *b* і *в* — симетричні імпульси.

проте суперечливі результати згаданих досліджень поки що не дали можливості зробити висновок про оптимальну форму електричного стимулу для дефібриляції серця.

Неточність застосовуваної термінології в обговорюваному питанні привела до штучного розділення пошуків розв'язання проблеми на два напрями. В Радянському Союзі на основі роботи Н. Л. Гурвича [2] загальне визнання дістав спосіб дефібриляції «імпульсним» струмом, одержуваним при розряді високовольтного конденсатора через індуктивність (рис. 1, *a*), а за кордоном і тепер широко застосовується дефібриляція синусоїдальним [3, 5, 6, 8] (рис. 1, *b*) і експоненціальним [4] (рис. 1, *в*) змінними струмами.

Визнана в літературі думка про різницю між поняттями дефібриляції «змінним струмом» і дефібриляції «імпульсним постійним струмом», яку в деяких випадках називали звичайно дефібриляцією «постійним струмом» [1, 7], неточно відбиває справжній стан, тому що фактично всі три види електричних впливів, наведених на рис. 1, є струмами змінних як за величиною, так і за знаком. У випадках, показаних на рис. 1, *b* і *в*, — це симетричний, а у випадках на рис. 1, *a*, — несиметричний за амплітудами окремих півхвиль змінний струм. В ос-

танньому випадку амплітуда другої півхвилі може становити 30—40% від аналогічного значення першої півхвилі, що не дозволяє вважати цей вплив «імпульсом постійного струму».

Відмінності в рекомендаціях, що стосуються оптимальної форми дефібрилюючого струму, є наслідком відсутності вичерпних даних про порівняльну ефективність різних форм цього струму, одержаних в тому самому досліді.

В цьому повідомленні наведені результати порівняльної оцінки ефективності різних форм дефібрилюючих електричних впливів в однакових умовах дослідів, здійснення яких стало можливим завдяки використанню сучасних досягнень півпровідникової електроніки.

Методика досліджень

Дослідження проводили в два етапи:

1) визначали оптимальну для дефібриляції серця тривалість синусоїдального змінного струму частотою 50 *гц*;

2) порівнювали порогові значення дефібрилюючого струму для електричних впливів різних видів.

В експерименті були використані 16 собак вагою від 6 до 21 *кг* за методикою Н. Л. Гурвича [2].

Фібриляцію серця у собак, що перебувають під морфіновим обезболюванням (0,5 *мл* 1%-ного розчину морфіну на 1 *кг* ваги тварини), викликали електротравмою яку заподіювали через голчасті електроди, вколоти під шкіру правої передньої і лівої задньої лап дво-три-секундним змінним струмом напруженням 127 *в* і частотою 50 *гц*.

Артеріальний тиск і дихання реєстрували на стрічці кімографа, а ЕКГ записували з допомогою приладу ЕКСПЧ.

Електроди для дефібриляції (металеві неокислювані диски діаметром 60 *мм*) вкриті кількома шарами марлі, змоченої солоним розчином, фіксували на правому і лівому боках вибритої грудної клітки в ділянці серцевого поштовху. Положення електродів і інші умови, що визначають перехідний електричний опір, на протязі досліду не змінювались.

Порогові значення дефібрилюючого струму, тобто найменшу величину струму, який припиняє фібриляцію, визначали через 20 *сек* після електротравми шляхом послідовного прикладення наростаючих за величиною стимулів випробуваної форми струму аж до одержання ефекту дефібриляції, який реєструють за моментом підвищення артеріального тиску. При цьому за величину порога приймали амплітудне значення окремої півхвилі (півперіоду) для стимулу змінного струму або амплітуду «імпульсу постійного струму».

Добір порога займав не більше 20—30 *сек* і уточнювався два-три рази при повторно викликаний через 15—20-хвилинні проміжки часу фібриляції.

Отже, поріг дефібриляції визначали для електричних впливів різних видів у тій же самої тварини в тому самому досліді, причому наприкінці досліду стабільність порога перевіряли стимулом вихідної форми.

Як джерело дефібрилюючого струму використовували експериментальний дефібрилятор, конструкції Я. П. Чеботарьова, який дає можливість одержати електричні впливи таких видів:

1. Стимули змінного струму частотою 50 *гц*, тривалістю від одного періоду і більше (рис. 2, а).

Поодинокий однополярний імпульс форми, близької до синусоїдальної, тривалістю 10 *мсек* (рис. 2, б) — «імпульс постійного струму».

3. Змінний струм з експоненціальною формою окремих півхвиль, тривалістю по 4÷5 *мсек* і загальною тривалістю 14 *мсек* (рис. 2, в).

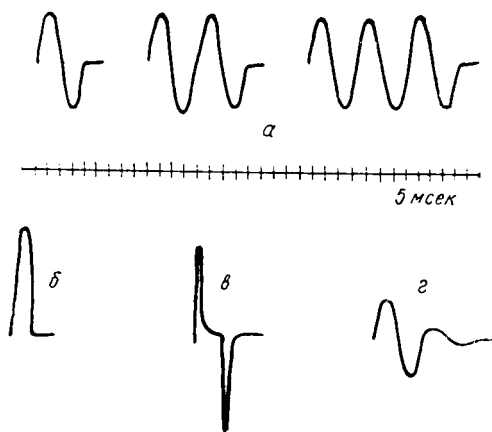


Рис. 2. Форми дефібрилюючих імпульсів, застосованих в експерименті.

Крім цих раніше застосованих видів дефібрилюючих впливів, був випробуваний стимул з симетричними по амплітудах першою і другою півхвилями та згасаючими третьою і четвертою півхвилями (рис. 2, з).

Величини електричних впливів при вимірюванні їх порогових значень визначали з допомогою осцилографа СІ-13 і фотоприставки по еталонному струму. Часові параметри імпульсів визначали з допомогою калібратора тривалості того ж осцилографа.

Результати досліджень

А. Порогові значення струму дефібриляції синусоїдальним змінним струмом. Визначали поріг дефібриляції для три-, дво- і одноперіодного струмів. Результати експериментальних вимірів величин струмів для кожного дослідю оформлені у вигляді

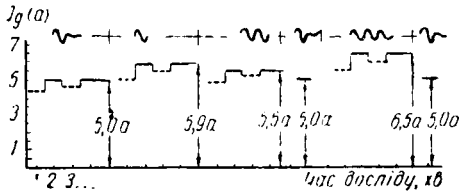


Рис. 3. Результати дослідю № 4 першої серії. Вага тварини — 15 кг.

По вертикальній осі — величини струму в амперах, по горизонтальній осі — номери випробувань. Суцільною лінією позначено струм, який дав ефект дефібриляції, пунктиром — найбільше неефективне значення. Зверху зображена форма струму, застосована в кожному окремому випадку.

графіків, на яких фіксували значення недефібрилюючих і дефібрилюючих струмів. На рис. 3 наведено такий графік (дослідю № 4), де пунктирними лініями показана величина струму (в амперах), який не усунув фібриляцію, а суцільними — величина дефібрилюючого струму.

Таблиця 1
Результати чотирьох дослідю першої серії

№ дослідю I серії	Вага тварини, кг	Пороговий струм дефібриляції (а) для змінного струму		
		одноперіод- ного	двоперіод- ного	триперіод- ного
1	6	3,0	2,3	2,6
2	9	4,3	3,8	3,8
3	11	2,6	2,3	3,0
4	15	5,9	5,5	6,5

Результати чотирьох дослідю першої серії зведені в табл. 1, з якої видно, що найменше значення порога дефібриляції має двоперіодний струм; на 8—10% перевищує це значення поріг одноперіодного змінного струму. Поріг дефібриляції для триперіодного змінного струму коливається в напрямку збільшення від значення порога для двоперіодного струму.

Б. Порогові значення дефібрилюючих струмів електричних впливів різних видів. Графіки вимірів порогових значень дефібрилюючих струмів електричних впливів у тієї самої тварини (для дослідю №№ 4, 5, 6, 7, 9, 10) показані на рис. 4, 5, 6, 7, а результати 12 дослідю наведені в табл. 2.

Дані, одержані в дослідю цієї серії, показують, що найменше порогове значення дефібрилюючого струму в усіх дослідю мають двоперіодний, симетричний за амплітудами перших двох півхвиль вплив із згасаючими третьою і четвертою півхвилями (рис. 2, з), на 10—20% вищий поріг одноперіодного змінного струму і приблизно в 2,5 раза

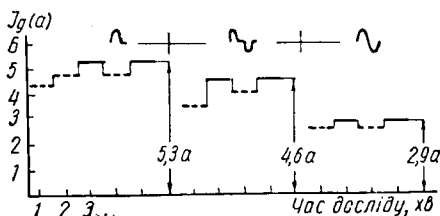


Рис. 4. Порогове значення дефібрилюючого струму для трьох форм імпульсу (дослід № 4 другої серії, вага собаки — 6 кг).

Позначення такі самі, як і на рис. 3.

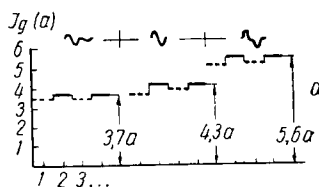


Рис. 5. Порогові значення дефібрилюючих струмів (досліди № 5 і 6 другої серії):

a — собака вагою 8,5 кг, *b* — собака вагою 13 кг. Решта позначень така сама, як і на рис. 3.

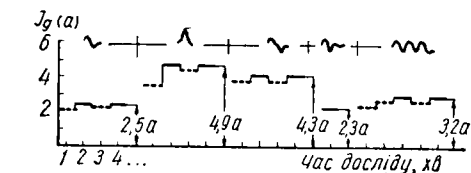
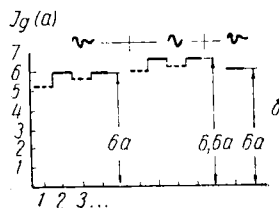


Рис. 6. Порогові значення дефібрилюючих струмів (дослід № 7 другої серії — собака вагою 8 кг).

Позначення такі самі, як і на рис. 3.

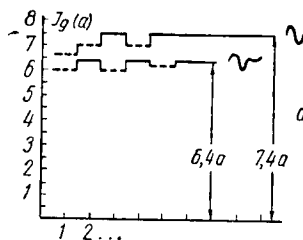
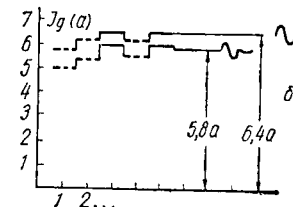


Рис. 7. Порогові значення дефібрилюючих струмів для симетричного і симетричного з двома згасальними півхвилями імпульсів (досліди № 9 і 10 другої серії):

a — собака вагою 21 кг, *b* — собака вагою 19 кг. Решта позначень така сама, як і на рис. 3.



Таблиця 2

Результати 12 дослідів другої серії

№ дослідів II серії	Вага тварини, кг	Порогове значення дефібрилюючого струму (<i>a</i>) для впливів			
		поодинокого однополярного імпульсу	однопіриодного змінного струму	двоперіодного згасаючого струму	експоненціального змінного струму
1	9	8,6	4,0	3,0	—
2	9	7,5	3,7	3,1	—
3	12	10,0	4,5	4,0	—
4	6	5,3	2,9	—	4,6
5	8,5	—	4,3	3,7	5,6
6	13	—	6,6	6,0	—
7	8	4,9	2,5	2,3	4,3
8	16	—	5,9	5,0	—
9	21	—	7,4	6,4	—
10	19	—	6,4	5,8	—
11	18	—	6,5	5,8	10,0
12	12	—	5,5	4,9	8,0

вищий поріг поодинокого однополярного імпульсу (рис. 2, б). Поріг експоненціального змінного струму (рис. 2, в) перевищує в середньому поріг симетрично згасаючого струму в два рази.

В усіх дослідах спостерігалась відносна постійність порогів дефібриляції як для однополярного поодинокого, так і для періодичних знакозмінних впливів для тієї самої тварини, що, очевидно, пояснюється стабільністю фаз вмикання і вимикання струму.

Таблиця 3

Порогові значення енергії (в умовних одиницях) для порівнюваних струмів

№ дослідів II серії	Вага тварини, кг	Порогове значення енергії дефібрилюючого струму для електричних впливів			
		поодинокого імпульсу	одноперіодного змінного струму	двоперіодного згасаючого змінного струму	експоненціального змінного струму
1	9	590	320	219	—
2	9	450	272	195	—
3	12	800	400	322	—
4	6	448	168	—	220
5	8,5	—	368	295	310
6	13	—	860	722	—
7	8	193	125	106	105
8	16	—	700	515	—
9	21	—	1100	840	—
10	19	—	820	680	—
11	18	—	840	677	1000
12	12	—	600	500	640

Крім значної різниці у величинах дефібрилюючих струмів, порівнювані види електричних впливів відрізняються також і за величиною енергії, розсіяваної на об'єкті дефібриляції. В табл. 3 наведені порогові значення енергії (в умовних одиницях) для порівнюваних струмів, визначені з рівняння: $A = c \sum J_g^2 \cdot t$, в якому c — постійна для кожного окремого дослідів величина, J_g і t — значення струму та його тривалість для кожної окремої півхвилі електричних впливів.

Порогове значення енергії однополярного поодинокого імпульсу перевищує втричі аналогічне значення симетричного згасаючого двоперіодного струму.

Висновки

1. Результати експерименту дозволяють вважати, що оптимальною для дефібриляції тривалістю змінного струму є тривалість, яка відповідає одному або двом періодам при частоті 50 *гц*.

2. Серед порівнюваних форм дефібрилюючих струмів мінімальне значення струму дефібриляції і розсіяваної енергії відповідає стимулу з симетричними першими двома і згасаючими третьою і четвертою півхвилями (рис. 2, г).

3. Поодинокий однополярний імпульс є менш бажаною формою дефібрилюючого струму, оскільки він характеризується високим порогом дефібриляції по струму і розсіяваній енергії.

Л і т е р а т у р а

1. Вишневский А. А., Цукерман Б. М.—Клин. медицина, 1965, 7, 5.
2. Гурвич Н. Л.—Фибрилляция и дефибрилляция сердца, Медгиз, М., 1957.
3. Herburn C.—Med. Electron a. Biol. Eng., 1965, 3, 2, 179.
4. Knickerbocker I., Becker R., Kouwenhoven W.—Энергетические системы, Госэнергоиздат, 1964, 69.
5. Kouwenhoven W., Kay J. H.—Surgery, 1951, 5, 781.
6. Prevost J. e. Batelli F.—J. de Physiol. e. de Pathol. gen., 1990, 2, 40.
7. Friedman M., Stein H., Bucher C.—Schweiz. med. Wochenschrift, 1965, 50, 95.
8. Zoll P. M., Linenthal A. J., Zarsky L. R.—New. Engl. J. Med., 1960, 262, 3, 105.

Надійшла до редакції
21.IV 1967 р.

Об оптимальной форме дефибрилирующего тока

Я. П. Чеботарев, В. Г. Николаев

Кафедра нормальной физиологии Луганского медицинского института

Р е з ю м е

В исследовании, проведенном на 16 собаках, сравнивались пороговые значения дефибрилирующего тока и его энергия для следующих форм электрических воздействий: один, два, три полных периода переменного тока частотой 50 *гц*, один полупериод переменного тока 50 *гц*, двухполярный ток с длительностью каждой полуволны в 4—5 *мсек* и интервалом между ними в 4—6 *мсек* и переменный ток частотой 50 *гц* с симметричными первыми двумя и затухающими третьей и четвертой полуволнами.

Минимальные величины дефибрилирующего тока и рассеиваемой на объекте энергии имеет последняя форма.

Опыты проведены с помощью экспериментального дефибриллятора, разработанного Я. П. Чеботаревым.

On the Optimal Form of Defibrillatory Current

Ya. P. Chebotaryov, V. G. Nikolaev

Department of Normal Physiology, the Medical Institute, Lugansk

S u m m a r y

In investigation carried out on 16 dogs the author compared threshold values of defibrillatory current and its energy for the following forms of electrical effects: one, two, three full periods of alternating current of 50 Hz frequency, one semiperiod of 50 Hz alternating current, bipolar current with 4—5 μ s duration of each half-wave and 4—6 μ s intervals between them and alternating current of 50 Hz frequency with the symmetric first two and damped third and fourth waves. The latter form has minimum values of defibrillatory current and energy diffused on the object. The experiments were carried out by means of an experimental defibrillator designed by Ya. P. Chebotaryov.