

О возможности оживления организма при фибрилляции сердца воздействием импульсного тока

Кандидат техн. наук А. А. АКОПЯН, кандидат мед. наук Н. Л. ГУРВИЧ,
инж. И. А. ЖУКОВ, доктор мед. наук В. А. НЕГОВСКИЙ

Всесоюзный электротехнический институт им. Ленина и Лаборатория экспериментальной физиологии по оживлению организма Академии медицинских наук

Введение. Изучение действия электрического тока на организм [Л. 1—7] позволяет считать, что большинство случаев смертельного поражения переменным током низкого напряжения обусловлено нарушением работы сердца. Это нарушение заключается в переходе нормальных сокращений сердца в беспорядочные, разновременные сокращения отдельных волокон сердечной мышцы (фибрилляция), что лишает сердце способности ритмического нагнетания крови в сосуды и приводит к остановке кровообращения в организме. Фибриллярные сокращения внешне имеют вид мелких, разновременных подергиваний отдельных участков сердца. Фибрилляция сердца может быть обнаружена по различным признакам, в частности, по форме электрокардиограммы (ЭКГ), отвечающей колебаниям биопотенциалов, которые возникают при каждом возбуждении сердечной мышцы. Нормальные сокращения сердца сопровождаются раздельными и однотипными комплексами колебаний (рис. 1,а), а фибриллярные сокращения — непрерывными, частыми колебаниями неравномерной амплитуды (рис. 1,б).

Величина переменного тока промышленной частоты, вызывающего фибрилляцию сердца, сравнительно невелика. Опытами на собаках, овцах и других животных установлено, что фибрилляция может возникнуть при прохождении через организм тока порядка 100 ма [Л. 6], причем доля тока, протекающего непосредственно через сердце, достигает не более 10% от общего тока [Л. 7]. Фибрилляция сердца у крупных млекопитающих и у человека самопроизвольно не прекращается и, как правило, она приводит к смерти.

Большой теоретический и практический интерес представляет тот факт, что в противоположность слабому току кратковременный сильный ток не только не вызывает, но даже прекращает фибрилляцию сердца. В 1899 г. Прево и Батели [Л. 8] прекращали у собак фибрилляцию сердца, вызванную переменным током низкого напряжения (110—220 в) последующим воздействием на организм переменного тока бо-

лее высокого напряжения (2 400—4 800 в). Длительность воздействия для прекращения фибрилляции была порядка 1 сек и более. В этих опытах электроды помещались в ротовую полость и прямой кишке животного. При наложении одного из электродов непосредственно на сердце [Л. 9] удавалось прекратить фибрилляцию переменным током при значительно меньшем напряжении (240 в), а также одиночным разрядом конденсатора емкостью 1,74 мкф, заряженного до напряжения 18 000 в. В 1932 г. Гукер и др. [Л. 10] получили прекращение фибрилляции сердца у мелких собак переменным током 60 гц, 0,8 а при наложении электродов непосредственно на сердце и в 5—9 а при наложении электродов снаружи, по обе стороны грудной клетки. В этих опытах длительность тока была 0,1...1 сек. В опытах Форриса и др. в 1936 г. [Л. 6] фибрилляция сердца у крупных животных (собак, овец, телят, свиней) прекращалась переменным током 60 гц, 25 а длительностью 0,1 и 0,06 сек, пропускаемым через грудную клетку.

Освещается состояние вопроса. Приводятся результаты экспериментального исследования по устранению импульсным током фибрилляции сердца у животных вследствие электротравмы или другой причины. Указываются оптимальные параметры дефибриллирующего импульсного тока, не оказывающего побочного вредного влияния на сердце животных. Оценивается величина импульсного тока, необходимая для дефибрилляции сердца у человека. Описывается разработанный аппарат дефибриллятор, генерирующий одиночные импульсы для дефибрилляции. Печатается в порядке обсуждения.

на сердце [Л. 9] удавалось прекратить фибрилляцию переменным током при значительно меньшем напряжении (240 в), а также одиночным разрядом конденсатора емкостью 1,74 мкф, заряженного до напряжения 18 000 в. В 1932 г. Гукер и др. [Л. 10] получили прекращение фибрилляции сердца у мелких собак переменным током 60 гц, 0,8 а при наложении электродов непосредственно на сердце и в 5—9 а при наложении электродов снаружи, по обе стороны грудной клетки. В этих опытах длительность тока была 0,1...1 сек. В опытах Форриса и др. в 1936 г. [Л. 6] фибрилляция сердца у крупных животных (собак, овец, телят, свиней) прекращалась переменным током 60 гц, 25 а длительностью 0,1 и 0,06 сек, пропускаемым через грудную клетку.

Нужно отметить, что, несмотря на эти лабораторные данные, переменный ток высокого напряжения нигде не нашел применения для прекращения фибрилляции сердца у людей, пораженных током. В 1940 г. Уигерс [Л. 11] предложил применять кратковременный переменный ток в случаях возникновения фибрилляции у больных во время операции, когда имеется возможность

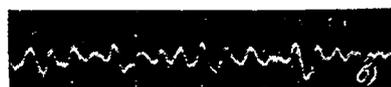
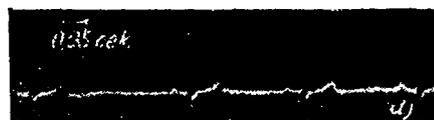


Рис. 1. Электрокардиограммы (ЭКГ).

а — при нормальной работе сердца; б — при фибрилляции сердца.

вскрыть грудную клетку и наложить электроды непосредственно на сердце, что обеспечивает получение необходимого дефибриллирующего тока при значительно меньших напряжениях. Впоследствии этот способ стал применяться в хирургической практике и в ряде случаев оказался успешным [Л. 12—14].

За последние годы предложен ряд конструкций аппарата для устранения фибрилляции в случае ее возникновения у больных в клинической обстановке [Л. 15—17]. Все эти аппараты имеют сходное устройство и состоят из изолирующего трансформатора, потенциометра, регулирующего напряжение на объекте (вторичной цепи), и педального ключа, замыкающего на короткое время (на доли секунды) вторичную цепь. В случае неуспеха от первого воздействия производится повторное включение или ряд повторных (серийных) включений через интервалы времени 1—1,5 сек.

По описанному способу удавалось прекратить фибрилляцию сердца у людей после ряда повторных воздействий. При этом напряжение вторичной цепи было 110...135 в, а ток — порядка 1,5...2 а. В последнее время высказывались предположения о целесообразности применения более сильного тока — 5 а и выше [Л. 17].

В 1939 г. И. Л. Гурвич и Г. С. Юньев [Л. 18] показали, что разрядом конденсатора емкостью 3...6 мкф, заряженного до напряжения 6 000...3 000 в, можно устранить фибрилляцию сердца у собаки, не прибегая к вскрытию грудной клетки, а накладывая электроды на ее поверхность. Дальнейшими исследованиями была установлена связь между величиной тока и продолжительностью электрического импульса, прекращающего фибрилляцию [Л. 19 и 20].

Возможность устранения фибрилляции сердца разрядом конденсатора через грудную клетку делает более реальной перспективу использования электрошока для оживления пораженных током. Для установления оптимальных параметров электрического импульса, прекращающего фибрилляцию сердца, проводились специальные опыты, результаты которых приводятся ниже.

Опыты по дефибрилляции сердца. Опыты проводились на собаках, которым предварительно вводился подкожно пантопон в количестве 4 мг на каждый килограмм веса животного. Схема экспериментальной установки дана на рис. 2. Конденсатор емкостью 4—24 мкф, заряжаемый до напряжения 6 000 в, замыканием ключа K разряжался через индуктивность $L = 0,28$ гн (активное сопротивление катушки 29 ом) на подопытное животное. Напряжение на животном и проходящий через него ток записывались шлейфным осциллографом МПО-2. Сопротивление измерительного делителя напряжения $R_2 = 5 000$ ом, а безиндукционного сопротивления, служащего для измерения тока, $R_1 = 1 \dots 7$ ом. Опыты производились также при отсутствии индуктивности.

Применяемые при опытах гибкие электроды диаметром около 8 см (резинные диски, покры-

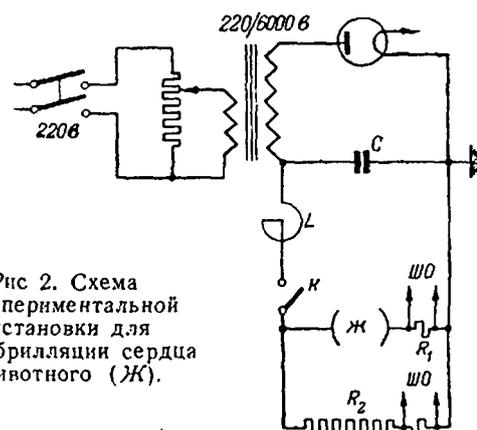


Рис 2. Схема экспериментальной установки для дефибрилляции сердца животного (Ж).

тые металлической фольгой) покрывались марлей, смоченной раствором поваренной соли, и накладывались на правую и левую стороны грудной клетки животного, по линии расположения сердца. Шерсть под электродами тщательно выстригалась. Электроды фиксировались в нужном положении посредством резиновой ленты, натянутой вокруг грудной клетки животного.

Фибрилляция сердца у подопытного животного вызывалась переменным током от сети 120 в. Для этой цели под кожу передней правой и задней левой лап животного вводились иглы, на которые кратковременно (1—2 сек) подавалось напряжение сети. Опыт по прекращению фибрилляции производился в течение первой минуты после поражения (в единичных случаях — спустя 1,5 мин и более после поражения). Напряжение на конденсаторе последовательно повышалось для каждого последующего разряда, пока не устранялась фибрилляция. Факт устранения фибрилляции устанавливался по электрокардиограмме. Биопотенциалы подавались на электрокардиограф от двух игол, вколотых в кожу животного по средней линии грудной клетки на уровне верхней и нижней границы расположения сердца.

Во время опытов животное, привязанное к станку, находилось в лежащем положении на спине.

Основные результаты опытов на восьми собаках весом 8...22 кг приведены в табл. 1. Опыты на собаках № 1—6 производились при емкости конденсатора 24 мкф, при наличии и отсутствии индуктивности в цепи разряда. Как видно из таблицы, наличие индуктивности в цепи сильно снижает величину тока, необходимого для прекращения фибрилляции. Так, например, в испытаниях на собаках № 1, 2 и 3 весом 8, 10 и 14 кг при наличии индуктивности в цепи разряда фибрилляция прекращалась током с амплитудой 6,4 а; 5,8 а и 41,2 а; при отсутствии же индуктивности в цепи токи с амплитудой 9,5 а; 26 а и 24,6 а не прекращали фибрилляции сердца у тех же собак. При отсутствии индуктивности в цепи для прекращения фибрилляции потребовался ток, в 2...3 раза больший, чем при наличии индуктивности. Различная эффективность тока при наличии и отсутствии индуктивности в цепи обусловливается его различной продолжительностью: с увеличением продолжительности тока эффективность возра-

Таблица 1

Данные опытов по прекращению фибрилляции сердца у собак импульсным током

№ собаки	Вес собаки, кг	Параметры разрядной цепи			Параметры дефибрилляции разряда		
		Емкость конденсатора, мкф	Напряжение на конденсаторе, в	Индуктивность цепи, гн	Напряжение на животном, в	Амплитуда тока, а	Продолжительность, мсек
1	8	24	1 500	0,28	550	6,4	10
			1 400	—	1 150	15,2	2—3
2	10	24	1 500	0,28	600	5,8	10
			2 500	—	2 000	32,3*	2—3
3	14	24	2 800	0,28	1 000	11,2*	10
			2 800	—	2 300	32,8*	2—3
4	11	24	Не измерялось	0,28	550	5,3	10
			• •	—	2 050	Свыше 16	2—3
5	10	24	• •	0,28	750	7,5	10
6	22	24	3 500	0,28	1 500	17,4	10
7	12	8	3 500	0,28	900	12,8	6
		4	6 000	0,28	1 350	19	4
8	12	8	3 000	0,28	1 000	9,2	6

* Дефибрилляция произведена в течение второй минуты за наступлением фибрилляции, а в остальных случаях, не отмеченных звездочкой,—в течение первой минуты.

стает и фибрилляция прекращается при меньшей амплитуде тока (рис. 3 и 4). Это согласуется с известной закономерностью об обратной зависимости между пороговой величиной электрического раздражения живой ткани и продолжительностью воздействия. Влияние продолжительности разрядного тока на его пороговую величину иллюстрируется также результатами испытаний при различных значениях емкости конденсатора. Как видно из табл. 2, с уменьшением емкости конденсатора амплитуда дефибриллирующего тока соответственно возрастает, так как при этом уменьшается его продолжительность.

Для установления более оптимальных параметров дефибриллирующего тока изучалось его

Таблица 2
Сравнительные данные величин импульсных токов, прекращающих фибрилляцию и вызывающих нарушение нормальной деятельности сердца у собак (емкость конденсатора 24 мкф)

№ собаки	Вес собаки, кг	Индуктивность цепи, гн	Продолжительность тока, мсек	Амплитуда дефибриллирующего тока, а	Испытание при нормально работающем сердце	
					Амплитуда тока, а	Нарушение деятельности сердца (по ЭКГ)
1	8	0,28	10	6,4	8,5	Нет
					9,5	Да
					12,2	Нет
2	10	0,28	2—3	15,2	15,9	Да
					10	Нет
					12,4	Да
3	14	0,28	10	11,2	11,1	Нет
					14,8	Да
					8,2	Нет
3	14	—	2—3	32,8	9	Да
					12,7	Нет
					15,3	Да

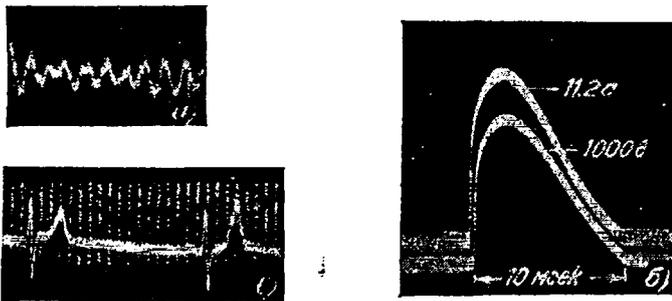


Рис. 3. Дефибрилляция сердца у собаки № 3 весом 14 кг при $C = 24$ мкф, $L = 0,28$ гн.
а — ЭКГ до разряда; б — осциллограммы напряжения на животном и тока через него; в — ЭКГ после разряда.

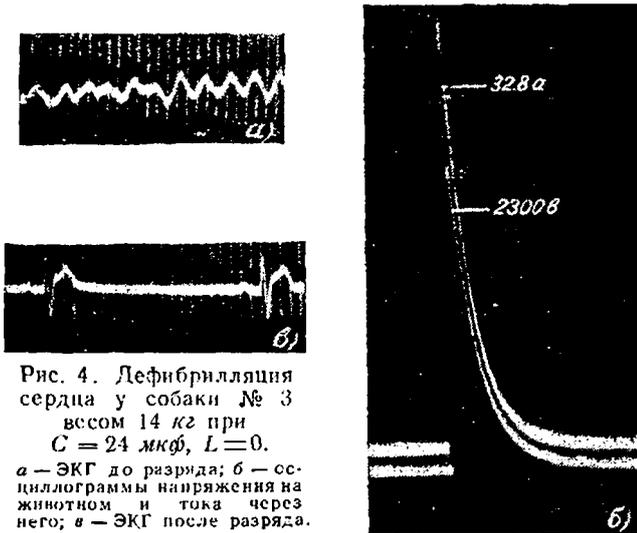


Рис. 4. Дефибриляция сердца у собаки № 3 весом 14 кг при $C = 24 \text{ мкф}$, $L = 0$.
 а — ЭКГ до разряда; б — осциллограммы напряжения на животном и тока через него; в — ЭКГ после разряда.

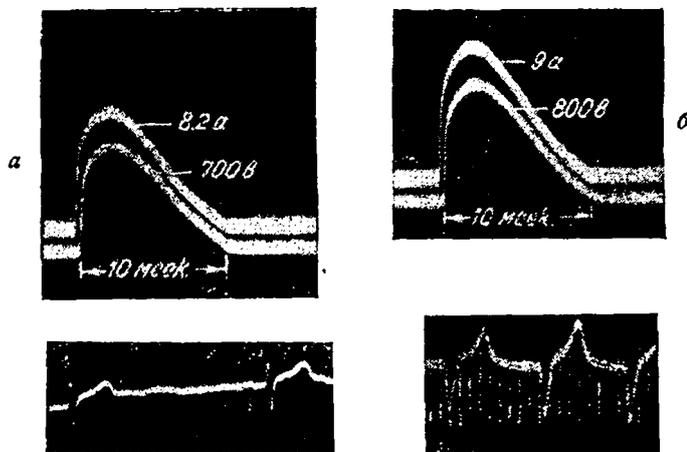


Рис. 5. Действие тока на нормально работающее сердце у собаки № 3 весом 14 кг при $C = 24 \text{ мкф}$, $L = 0,28 \text{ гн}$.
 а — напряжение на животном. Ток через него, не нарушающий нормальной работы сердца, и ЭКГ после воздействия; б — напряжение на животном. Ток через него, вызывающий желудочковые экстрасистолы, ЭКГ после воздействия.

физиологическое действие на нормально работающее сердце у тех же собак № 1, 2 и 3, на которых проводились опыты по дефибриляции. Наличие или отсутствие вредного действия того или иного тока оценивалось по электрокардиограмме, снимаемой после воздействия на сердце спустя 4...6 сек. Как видно из табл. 2, где даны сводные результаты при продолжительности тока 10 мсек, для собаки № 1, амплитуда тока (9,5 а), вызывающего нарушение работы сердца, существенно превышает (в 1,5 раза) амплитуду дефибрилирующего тока (6,4 а).

Нарушение нормальной работы сердца состоит в появлении внеочередных желудочных возбуждений — экстрасистол. Такие экстрасистолы

характеризуются на электрокардиограмме в отличие от нормального комплекса колебаний (рис. 1,а) двумя разнополярными полуволнами, без четко выраженной паузы между ними (рис. 5,б). В случае отсутствия индуктивности в цепи разряда (продолжительность тока около 2—3 мсек) такое нарушение сердечной деятельности возникает при амплитуде тока 15,9 а, практически равной амплитуде дефибрилирующего тока. У собаки № 2 при наличии индуктивности в цепи нарушение нормальной работы сердца наступает при токе 12,4 а, вдвое превышающем по амплитуде дефибрилирующий ток, а в случае отсутствия индуктивности в цепи нарушение сердечной деятельности наступает при токе (14,8 а), даже вдвое меньшем по амплитуде, чем дефибрилирующий ток (32,3 а). У собаки № 3 при наличии индуктивности работа сердца нарушается при токе 9 а (рис. 5), несколько меньшем дефибрилирующего тока (11,2 а). В случае отсутствия индуктивности в цепи нарушение нормальной работы сердца у этой собаки наступает при токе 15,3 а (рис. 6), вдвое меньшем дефибрилирующего тока (32,8 а).

Результаты этих опытов показывают, что предпочтительнее применять для дефибриляции сердца более продолжительный ток (10 мсек) с меньшей амплитудой, хотя нарушение нормальной работы сердца наступало при меньших значениях продолжительного тока. Значительное снижение величины дефибрилирующего тока (в 2,5 раза) с большей продолжительностью уменьшает опасность повреждения сердца при дефибриляции. Применение для дефибриляции токов продолжительностью более 10 мсек, как показали единичные испытания, нецелесообразно, так как дальнейшее увеличение времени не снижает амплитуды тока.

Необходимо отметить, что прекращение фибрилляции в течение первых двух минут после ее возникновения приводит к восстановлению нормальной сердечной деятельности. При более поздней дефибриляции сердечная деятельность не восстанавливается без применения специальных мероприятий. В опытах на собаках удавалось восстановить сердечную деятельность применением

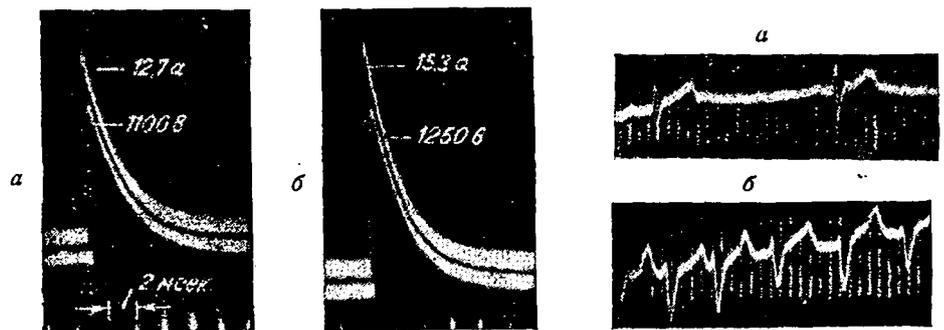


Рис. 6. Действие тока на нормальную работу сердца у собаки № 3 весом 14 кг при $C = 24 \text{ мкф}$, $L = 0$.

а — напряжение на животном, ток через него, не нарушающий нормальную работу сердца, ЭКГ после воздействия; б — напряжение на животном. Ток через него вызывает желудочковые экстрасистолы, ЭКГ после воздействия.

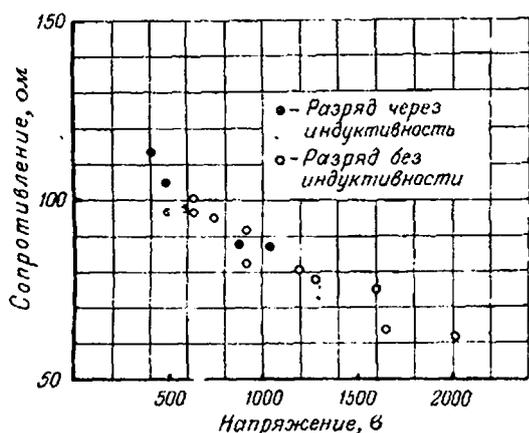


Рис. 7. Сопротивление грудной клетки собаки № 2 весом 10 кг в зависимости от приложенного напряжения. Электроды диаметром 8 см.

последующего артериального нагнетания крови (по методу, разработанному в Лаборатории экспериментальной физиологии АМН СССР) вслед за дефибрилляцией, произведенной спустя 7—8 мин после поражения током [Л. 21 и 22].

В то время как с увеличением веса подопытного животного (от 8 до 14 кг) амплитуда дефибриллирующего тока возрастает, амплитуда тока, нарушающего нормальную деятельность сердца, оказалась практически независимой от веса животного: при наличии индуктивности в цепи разряда — порядка 10 а, при отсутствии же индуктивности — порядка 15 а (табл. 2).

Сопротивление грудной клетки собаки оказалось весьма низким (порядка 100 ом) и в некоторой степени зависящим от приложенного напряжения. Сказанное иллюстрируется для собаки № 2 весом 10 кг на рис. 7.

Величина тока для дефибрилляции сердца у человека. Возможность устранения фибрилляции сердца у человека непосредственным электрическим воздействием на сердце, как было упомянуто выше, практически доказана в клинических условиях. Вопрос о величине тока, устраняющего фибрилляцию сердца у человека при наложении электродов не непосредственно на сердце, а на грудную клетку без ее вскрытия, пока не получил прямого практического ответа. На основании опытов на животных с весом, близким к весу человека, было высказано предположение, что для прекращения фибрилляции сердца у человека необходим переменный ток величиной 25 а [Л. 6].

Для выяснения этого вопроса были проведены опыты по прекращению фибрилляции сердца у животных различного вида и рода (собаки, овцы и козы) с различным весом при наложении электродов на грудную клетку [Л. 23]. Все опыты проводились токами разряда конденсатора при наличии в цепи индуктивности. В опытах на собаках емкость конденсатора была 24 мкф, индуктивность в цепи разряда — 0,28 гн, а общее активное сопротивление цепи, включая сопротивление животного, составляло около 100 ом. В опытах на

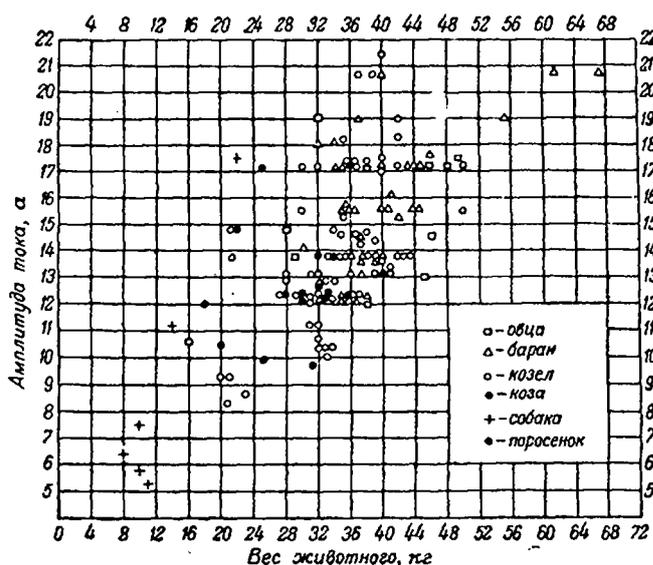


Рис. 8. Амплитуда дефибриллирующего тока (продолжительностью около 10 мсек) в зависимости от веса животного.

овцах и козах емкость конденсатора была 14 мкф, индуктивность в цепи — 0,5 гн, а общее активное сопротивление цепи составляло около 120 ом. В обоих случаях разрядный ток имел одинаковую форму сильно затухающих колебаний (амплитуда второй полуволны не достигала 20% от первой) с полупериодом колебания 9...10 мсек. Основные результаты опытов приведены на рис. 8.

Как видно из рисунка, величина тока, прекращающего фибрилляцию сердца, возрастает с увеличением веса животных и практически не зависит от их вида и рода. У всех видов животных одного и того же веса наблюдается значительный разброс в величине дефибриллирующего тока, обусловленный, вероятно, индивидуальными особенностями того или иного животного. Наименьшая величина дефибриллирующего тока (5...7,5 а) отмечена для животных весом 8—11 кг. Для животных весом 15...30 кг величина дефибриллирующего тока колеблется в пределах 8,3...17,5 а. Для животных весом 30...50 кг дефибриллирующий ток колеблется в пределах 10...21,5 а. Для животных с наибольшим весом 61...67 кг дефибриллирующий ток — порядка 21 а. Однако, недостаточное число подопытных животных с этим весом не позволяет пока судить о пределах колебания величины дефибриллирующего тока для животных такого веса. Экстраполируя полученные результаты, можно ожидать, что для организмов с весом 60...80 кг (вес человека) величина дефибриллирующего тока находится в пределах 20—40 а. Хотя организм человека сильно отличается от организма животных, все же в отношении реакции сердца на действие электрического тока нет основания предполагать наличия принципиальных различий между сердцем человека и сердцем подопытных животных, поскольку здесь речь идет о крайне сильном токе, действующем непосредственно на сердечную мышцу.

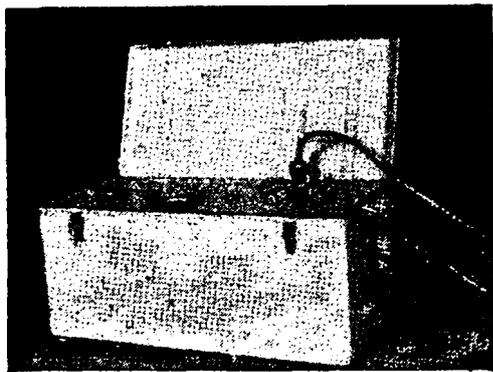


Рис. 9. Внешний вид аппарата-дефибриллятора.

Аппарат-дефибриллятор. Внешний вид дефибриллятора, изготовленного на опытном заводе ВЭИ, дан на рис. 9. Схема аппарата в основном соответствует рис. 2. Конденсатор аппарата емкостью 24 мкф может быть заряжен до напряжения 6 000 в. Индуктивность катушки самоиндукции равна 0,25 гн, а ее активное сопротивление составляет 25 ом. При общем сопротивлении в цепи разряда порядка 100 ом аппарат может дать импульс тока с амплитудой 35—40 а. Аппарат может питаться от сети 120 или 220 в. На рис. 10 даны осциллограммы тока, генерируемого аппаратом, и напряжения на объекте при испытании собаки весом 22 кг. Как видно, продолжительность первой полуволны тока составляет около 10 мсек, а амплитуда второй полуволны тока незначительна (не больше 15% от

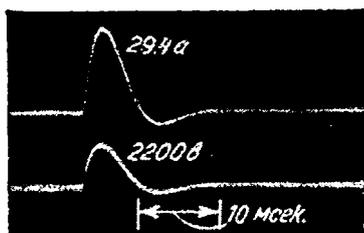


Рис. 10. Осциллограммы тока, генерируемого аппаратом-дефибриллятором ВЭИ. Напряжения на животном (собака № 6 весом 22 кг).

амплитуды первой полуволны). Такой импульс по своей амплитуде значительно превышает величину дефибриллирующего тока для этого животного (17,4 а).

Выводы. 1. Опыты на животных показали, что амплитуда электрического импульса, способного устранить фибрилляцию сердца, вызванную переменным током, находится в определенной зависимости от продолжительности импульса. Разряд емкости 24 мкф непосредственно на грудную клетку прекращает фибрилляцию сердца у собак при амплитуде разрядного тока 15...30 а; при этом продолжительность импульса составляет около 2...3 мсек. Разряд той же емкости через индуктивность порядка 0,3 гн (продолжительность импульса около 10 мсек) прекращает фибрилляцию сердца у собак при амплитуде разрядного тока 6...12 а.

2. Опыты показали, что для устранения фибрилляции предпочтительнее применять более продолжительный импульсный ток (10 мсек) с меньшей амплитудой. Такой ток оказывает на сердце

значительно меньше вредного влияния, чем дефибриллирующий ток с большей амплитудой, хотя и менее продолжительный (2 мсек).

3. Опыты на собаках, овцах и козах показали, что величина дефибриллирующего тока возрастает с увеличением веса животных и практически не зависит от их вида и рода. Амплитуда дефибриллирующего тока при его продолжительности в 10 мсек для животных весом 40 кг составляет 13...21,5 а.

4. Экстраполяция результатов опытов на животных позволяет предполагать, что для дефибрилляции сердца у взрослого человека амплитуда тока при его продолжительности 10 мсек, вероятно, должна находиться в пределах 20—40 а. Распространение экспериментальных результатов на человеческий организм можно считать допустимым в отношении реакции сердца на прямое раздражающее действие электрического тока, поскольку речь идет о крайне сильном токе, действующем непосредственно на сердечную мышцу.

5. Прекращение фибрилляции сердца импульсным током в течение первых двух минут после наступления фибрилляции приводит к восстановлению нормальной сердечной деятельности без применения каких-либо мероприятий. При более поздней дефибрилляции (спустя 7... 8 мин после поражения) можно ожидать восстановления сердечной деятельности и жизненных функций организма от применения последующего артериального нагнетания крови и искусственного дыхания, обеспечивающего рефлекторную стимуляцию дыхательного центра.

В заключение считаем необходимым отметить хорошо известный факт, что не всегда электропоражение вызывает фибрилляцию сердца. Известны многочисленные случаи, когда пострадавшие от электрического тока были возвращены к жизни благодаря длительному и настойчиво проведенному искусственному дыханию. Поэтому содержание настоящей работы несколько не отрицает необходимости проведения искусственного дыхания при оказании помощи пораженным током до тех пор, пока у них не восстановится самостоятельное дыхание или же появятся несомненные признаки смерти (трупные пятна).

Литература

1. Ф. А. Андреев. Смерть от электрического тока. Практич. врач, т. XI, № 8—9, 1912.
2. М. П. Бресткин, А. В. Лебединский, Л. А. Орбели и В. В. Стрельцов. К вопросу о механизме гибели животных при электротравме. Физиол. журнал СССР, т. 15, № 6, стр. 512, 1932.
3. И. Р. Петров и В. Э. Глазенац. О влиянии на организм кратковременной электротравмы. Сборник "Электротравма", Ленинград, 1939.
4. Н. Л. Гурвич. Зависимость возникновения фибрилляции от продолжительности и силы тока. Реферативный сборник. Отд. биол. наук АН СССР, 1945.
5. J. L. Prévost et F. Battelli. La mort par les courants à bas voltage. Journ. de physiol. et de pathol. gén., стр. 399, 1899.
6. L. P. Ferris, B. G. King, P. W. Spence and H. B. Williams. Effect of Electric Shock on the Heart. Electr. Eng., стр. 498, № 5, 1936.
7. W. B. Kouwenhoven, D. R. Hooker and O. R. Langworthy. Heart injury from Electric Shock. Electr. Eng., стр. 242, № 4, 1932.

8. J. L. Prévost et F. Battelli. La mort par les courants électriques. Journ. de physiol. et de pathol. gén., стр. 427, 1899.
9. J. L. Prévost et F. Battelli. Quelques effets des décharges électriques sur le coeur des mammifères. Journ. de physiol. et de pathol. gén., стр. 40, 1900.
10. D. R. Hooker, W. B. Kouwenhoven and O. R. Langworthy. The Effect of Alternating Electric Current on the Heart. Amer. Journ. of Physiology, т. 103, стр. 444, 1933.
11. C. Wiggers. The Physiological Basis for Cardiac Resuscitation. Amer. Heart Journ., т. 20, стр. 413, 1940.
12. C. S. Beck and H. J. Rand. Cardiac Arrest During Anesthesia and Surgery. Journ. Amer. Med. Ass., т. 141, стр. 1230, 1949.
13. J. L. Southworth, V. A. McKusick, E. C. Pierle and F. L. Rawson. Ventricular Fibrillation Precipitated by Catheterization. Complete Recovery of the Patient after forty-five Minutes. Journ. Amer. Med. Ass., т. 143, стр. 717, 1950.
14. J. Johnson and C. R. Kirby. The Surgical Treatment of Ventricular Fibrillation. Amer. Surgery Ass. Meeting, 1951.
15. E. Vanremortere. Nouveau défibrillateur électrique avec mesure de la résistance du coeur. Arch. internat. de physiologie, т. 57, стр. 347, № 3, 1950.
16. D. A. Cooley. Cardiac Resuscitation during Operation for Pulmonic Stenosis. Annal. of Surgery, т. 132, стр. 930, сентябрь 1950.
17. W. B. Kouwenhoven and J. H. Key. A Simple Electric Apparatus for the Clinical Treatment of Ventricular Fibrillation Surgery, т. 30, стр. 781, № 5, ноябрь 1951.
18. Н. Л. Гурвич и Г. С. Юньев. О восстановлении нормальной деятельности сердца теплостимулирующим средством конденсаторного разряда. Бюлл. экспер. биологии и медицины, т. VIII, вып. 1, стр. 55, 1939.
19. Н. Л. Гурвич. Зависимость пороговых величин напряжения и емкости конденсаторного разряда, прекращающего фибрилляцию сердца. Бюлл. экспер. биологии и медицины, т. 14, стр. 66, 1943.
20. Н. Л. Гурвич. О применении конденсаторных разрядов для восстановления нормальной деятельности сердца. Труды VII Всес. съезда физиол., биохим. и фармакол., стр. 521, 1947.
21. В. А. Неговский. Патопфизиология и терапия агонии и клинич. смерти. Медгиз, 1954.
22. В. А. Неговский и Н. Л. Гурвич. О возможности оживления пораженных током. ж. Фельдш. и акуш., № 6, 1952.
23. Н. Л. Гурвич и Л. Е. Каплан. Зависимость порогового напряжения для прекращения фибрилляции от размера животного. Сборник рефератных работ. Отд. биол. наук АН СССР, 1943.

[10.7. 1954]



К методике экспериментального исследования динамических свойств автоматизированного электропривода

Инж. Ю. Р. РЕЙНГОЛЬД
Трест «Электропривод» МЭП

Трудности, встречающиеся при теоретическом определении динамических свойств сложных современных систем автоматизированного электропривода, часто вызывают необходимость их экспериментального исследования. Эксперимент позволяет получить практически достоверные данные относительно устойчивости и качества регулирования реальной системы и определить влияние динамических характеристик ее отдельных элементов и стабилизирующих устройств. Результаты экспериментального исследования могут оказаться также весьма полезными при разработке инженерных методов расчета аналогичных систем.

Наибольшее распространение для экспериментального исследования системы автоматического регулирования получили два метода: метод функции переходной проводимости и метод частотных характеристик. С математической точки зрения оба метода идентичны: частотная функция и функция переходной проводимости для линейных систем однозначно связаны. Однако с точки зрения практического использования метод частотных характеристик оказывается более ценным по следующим основным причинам:

1. Метод экспериментальных частотных харак-

Обоснована целесообразность применения для исследования динамических свойств систем автоматизированного электропривода метода экспериментальных частотных характеристик. Дан обзор аппаратуры, применяющейся для целей исследования.

теристик пригоден для исследования не только линейных систем, но также и некоторых нелинейных [Л. 1 и 2].

2. Частотная характеристика, полученная экспериментальным путем, может быть непосредственно использована для решения задачи устойчивости системы и для дальнейшего аналитического расчета.

3. Метод экспериментальных частотных характеристик позволяет выявить с большей точностью влияние малых постоянных времени, что в некоторых случаях имеет большое значение. Влияние малых постоянных времени оказывается существенным лишь при высоких частотах, что соответствует самому началу переходного процесса и поэтому трудно поддается исследованию методом функции переходной проводимости.

4. Если исследуемая система линейна, нетрудно по экспериментальным частотным характеристикам, пользуясь известными методами, построить переходный процесс или произвести его качественную оценку.

5. При аппроксимации экспериментальной частотной характеристики исходным является дифференциальное уравнение системы, а не его решение, что более удобно.

В то же время при наличии соответствующей