

- конденсированных веществ. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. 182 с.
8. Лосев В.Ф., Осипов В.В., Прокопьев В.Е., Соломонов В. Способ спектрального анализа элементного состава вещества / Патент РФ на изобретение № 2003119793/14.
  9. Коровин С.Д., Гольдберг Е.Д., Дыгай А.М., Удут В.В., Прокопьев В.Е. Способ спектрального анализа химического состава вещества / Патент РФ на изобретение № 2319137 от 10 марта 2008 г.
  10. Кушиаван Х., Чумаков А.Н., Чунг Дэси Ли, Май Он Чиа, Уэда М., Кагава К. Эмиссионный спектроскопический анализ металлов с использованием азотного лазера // Журнал прикладной спектроскопии. 2004. Т. 71. № 1. С. 5-9.
  11. Спектроскопические методы определения следов элементов / Под ред. Дж. Вайнфорднера. – М.: Изд-во «Мир», 1979. 494 с.

Владимир Егорович Прокопьев,  
д-р физ.-мат. наук,  
ст. научный сотрудник,  
Институт сильноточной электроники СО РАН,  
Владимир Васильевич Удут,  
д-р мед. наук, профессор,  
зам. директора по научной  
и клинической работе,  
НИИ фармакологии СО РАМН,  
г. Томск,  
e-mail: prokop@ogl.hcei.tsc.ru

В.А. Востриков, Б.Б. Горбунов, А.Н. Гусев, Д.В. Гусев, Г.П. Иткин, Е.Г. Конышева, К.А. Мамекин, И.В. Нестеренко, М.Н. Петухова, С.В. Селищев, Д.В. Тельшев, С.Б. Трухманов

## ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ В ПРОЦЕССЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ БИПОЛЯРНОГО ИМПУЛЬСА ДЕФИБРИЛЛЯЦИИ ГУРВИЧА-ВЕНИНА

### Аннотация

В эксперименте на 5 наркотизированных свиньях массой тела 33...50 кг исследована динамика изменения сопротивления грудной клетки (СГК) в процессе воздействия биполярного импульса дефибрилляции Гурвича-Венина. Выявлена закономерность уменьшения СГК при нарастании тока в первой фазе импульса в среднем на 16 % (диапазон 10...22 %) к моменту достижения его амплитудного значения (первые ~ 2 мс первой фазы). В дальнейшем при воздействии импульса СГК изменяется незначительно. Установлено, что динамика изменения СГК связана в первую очередь с процессами, происходящими в тканях, расположенных под электродами (кожа, подкожная жировая клетчатка, скелетные мышцы). Уменьшение СГК приводит к пропорциональному уменьшению энергии эффективного разряда и соответственно уменьшению повреждения расположенных под электродами тканей.

### Введение

До настоящего времени отсутствуют данные о влиянии биполярного квазисинусоидального импульса дефибрилляции Гурвича-Венина на динамику сопротивления грудной клетки (СГК). Основной целью данной работы явилась оценка изменения СГК в течение воздействия импульса Гурвича-Венина на сердце экспериментальных животных.

Динамика изменения СГК при воздействии импульса дефибрилляции связана с реакцией сложной биологической системы. В публикациях по указанной тематике представлены результаты преимущественно в виде зависимости сопротивления от времени с описанием форм напряжения и тока дефибриллирующего импульса [1], [2]. В данном исследовании мы регистрировали значения напряжения и тока на протяжении всего времени воздействия импульса Гурвича-Венина с частотой дискретизации  $10^6$  выборков/с. Затем строили циклограммы зависимости СГК от тока. На основании анализа полученных данных установлены не известные ранее особенности реакции биологических тканей экспериментального животного на воздействие биполярного импульса дефибрилляции Гурвича-Венина [3]-[5].

### Методика эксперимента

Исследование выполнено на 5 свиньях массой тела 33...50 кг после выполнения основной задачи – проведения экспериментов по определению порогов дефибрилляции. Эксперимент проводили в условиях седации и анестезии: реланиум 0,5 мл/кг и ксилазин 2 % 2,0...3,0 мг/кг внутримышечно; тiopентал натрия 2,5 % 10...15 мг/кг/ч внутривенно. Инфузионная терапия включала в себя физиологический раствор или дисоль. Каждые 30...60 мин определяли газовый состав артериальной крови и электролиты, которые поддерживали в пределах нормы. Всем животным проводили искусственную вентиляцию легких комнатным воздухом с добавлением кислорода. В 1-й серии опытов разряды дефибриллятора наносили через грудную клетку, во 2-й – на область правого бедра и в 3-й – на открытое сердце. В 1-й и 2-й сериях опытов разряды дефибриллятора наносили через наклеиваемые электроды диаметром 8 см, в 3-й серии – через специальные электроды для проведения дефибрилляции на открытом сердце. В 1-й серии опытов перед наложением электродов поверхность грудной клетки тщательно выбривали и протирали спиртом. Для уточнения места расположения наклеиваемых электродов

тродов методом импедансометрии (высокочастотный ток 31 кГц, 100 мкА) определяли зону минимального ожидаемого межэлектродного SGK. Верхний край правого электрода располагали примерно во 2-м межреберье; центр левого – в области максимальной пульсации верхушки сердца с поправкой на значения ожидаемого импеданса. Во 2-й серии опытов наклеиваемые электроды располагали в верхней трети правого бедра. Динамику изменения SGK исследовали с помощью биполярного квазисинусоидального импульса Гурвича-Венина, форма которого соответствует биполярным импульсам дефибрилляторов ДИ-03 и ДКИ-01 [6] при SGK 100 Ом (рис. 1). Амплитуда первой фазы импульса (точка 2 на рис. 1) находилась в диапазоне от 10 до 32 А. При значениях токов, попадающих в область неопределенности, указанную на рис. 1, наблюдалось резкое изменение SGK. Однако энергия фрагментов импульса в зоне неопределенности давала малый вклад в суммарную энергию импульса вследствие малой величины токов.

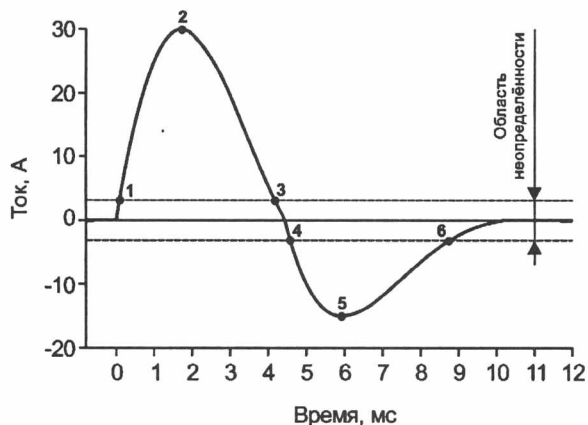


Рис. 1. Биполярный квазисинусоидальный импульс дефибрилляции Гурвича-Венина

Форму тока и напряжения на животном во время воздействия импульса регистрировали с помощью экспериментальной установки, в состав которой входили:

- измерительный стенд, позволяющий автоматически детектировать подаваемый на электроды дефибриллирующий импульс, регистрировать и измерять основные параметры импульса;
- экспериментальный дефибриллятор, позволяющий формировать импульсы дефибрилляции заданной формы и амплитуды тока первой фазы;
- персональный компьютер.

Функциональная схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Измерительный стенд содержит делитель энергии, служащий для точной установки энергии импульса, выделяемой на животном. Это позволяет сравнивать пороговые энергии импульсов различных дефибрилляторов, широко используемых в мировой практике. В данном эксперименте делитель энергии не использовался, поскольку экспериментальный дефибриллятор позволяет задавать произвольное значение амплитуды тока первой фазы импульса. Технические

характеристики измерительного стенда представлены в табл. 1.

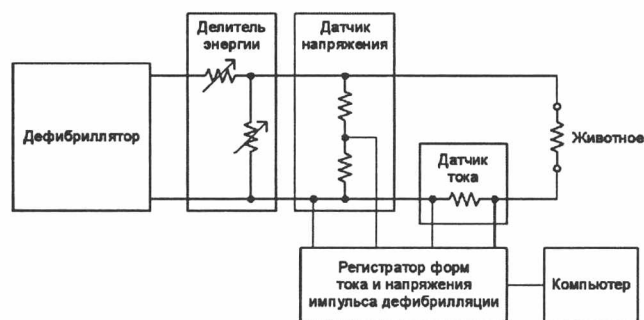


Рис. 2. Функциональная схема экспериментальной установки

Таблица 1

**Характеристики измерительного стенда**

Максимальная длительность регистрируемого импульса, мс	24
Разрядность аналого-цифрового преобразователя, бит	12
Количество каналов АЦП	2
Частота дискретизации значений в каналах АЦП, выборок/с	1x10 <sup>6</sup>
Максимальная амплитуда тока регистрируемого импульса, А	50
Максимальная амплитуда напряжения регистрируемого импульса, В	3000

Циклограммы изменения SGK строили на основании форм тока и напряжения, которые были зарегистрированы в процессе воздействия биполярного импульса Гурвича-Венина на указанные выше зоны наложения электродов.

**Результаты исследования**

График изменения SGK под воздействием импульса Гурвича-Венина представлен на рис. 3. Однако более информативной представляется циклограмма изменения SGK во время действия импульса Гурвича-Венина, представляющая зависимость SGK от тока (рис. 4). Из циклограммы видно, что основное изменение SGK во время действия импульса дефибрилляции происходит в процессе нарастания тока в первой фазе импульса, после чего значение SGK остается относительно стабильным. К моменту достижения амплитудного значения тока первой фазы импульса уменьшение SGK составляет в среднем 16 % (диапазон 10...22 %).

Циклограмма изменения межэлектродного сопротивления тканей в верхней трети правого бедра (рис. 5) сопоставима с циклограммой изменения SGK. Однако циклограмма изменения сопротивления открытого сердца (рис. 6) принципиально отличается от указанных выше, указывая на практически стабильное значение SGK в течение обеих фаз импульса. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что сложная динамика изменения SGK в первую очередь связана с электрическими процессами, происходящими в тканях,

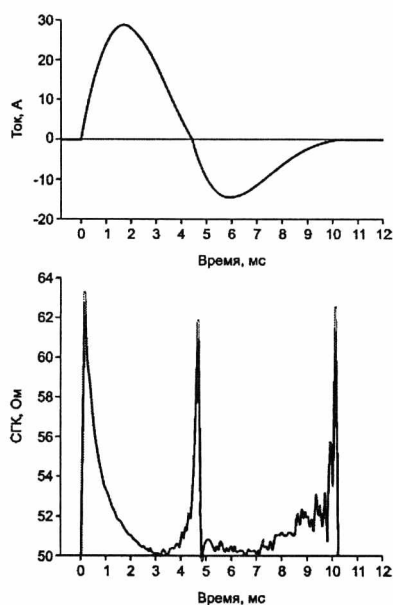


Рис. 3. График изменения СГК под воздействием импульса Гурвича-Венина

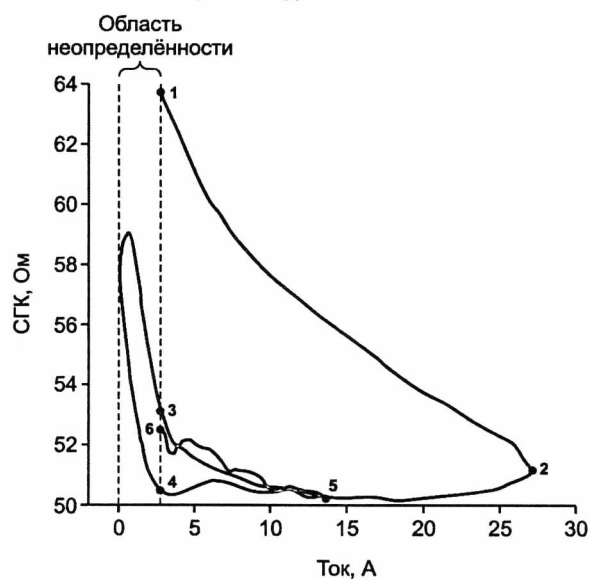


Рис. 4. Циклограмма изменения СГК во время действия импульса Гурвича-Венина

расположенных под электродами (кожа, подкожная жировая клетчатка, скелетные мышцы).

Значение СГК на вершине первой фазы импульса определяется ее амплитудой тока. По мере роста силы тока в первой фазе импульса СГК уменьшается. Текущее значение СГК при этом определяется текущим значением тока. Эта зависимость представлена на циклограммах биполярного импульса Гурвича-Венина с амплитудами тока первой фазы 15 и 28 А (рис. 7).

Усредненная кривая изменения СГК при нарастании тока в первой фазе импульса Гурвича-Венина представлена на рис. 8.

### Заключение

В эксперименте на животных установлено закономерное уменьшение СГК в процессе воздействия

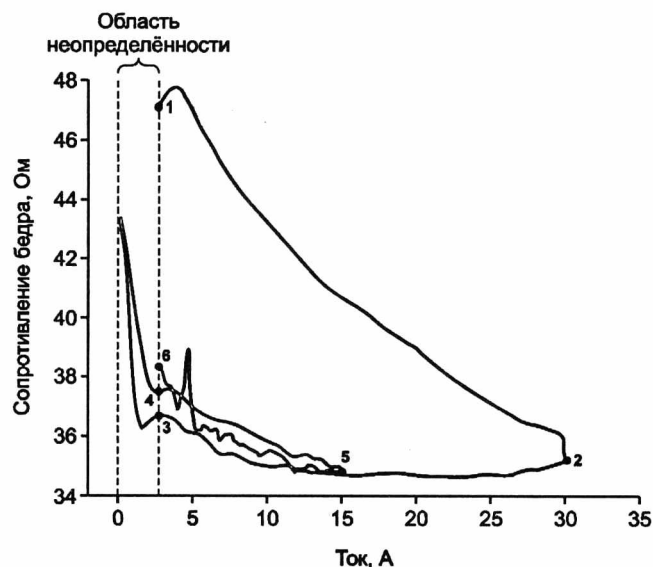


Рис. 5. Циклограмма изменения сопротивления бедра во время действия импульса Гурвича-Венина

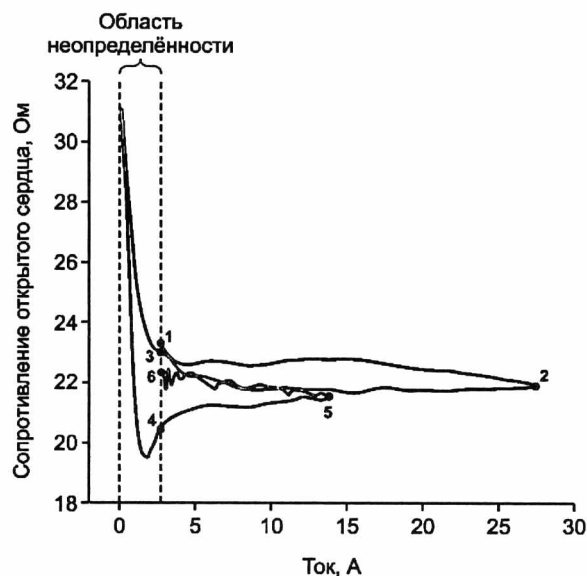


Рис. 6. Циклограмма изменения сопротивления открытого сердца во время действия импульса Гурвича-Венина

биполярного импульса Гурвича-Венина на область сердца через электроды диаметром 8 см. Основное уменьшение СГК происходит при нарастании тока в первой фазе импульса, составляя в среднем 16 % (диапазон 10...22 %) к моменту достижения его амплитудного значения (примерно первые 2 мс первой фазы). В дальнейшем при воздействии импульса СГК изменяется незначительно. Динамика изменения СГК связана в первую очередь с процессами, происходящими в тканях, расположенных под электродами (кожа, подкожная жировая клетчатка, скелетные мышцы). Уменьшение СГК приводит к пропорциональному уменьшению энергии эффективного разряда и соответственно уменьшению повреждения, расположенных под электродами тканей.

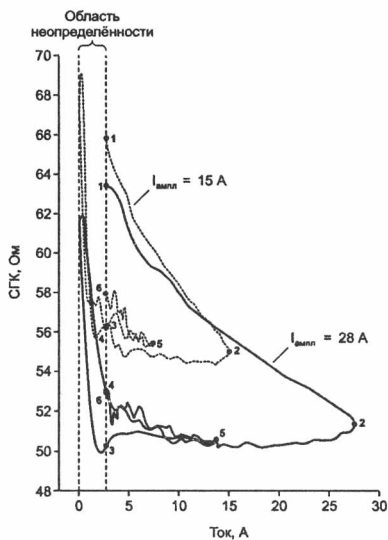


Рис. 7. Циклограммы изменения СГК во время действия импульсов Гурвича-Венина с амплитудами тока первой фазы 15 и 28 А

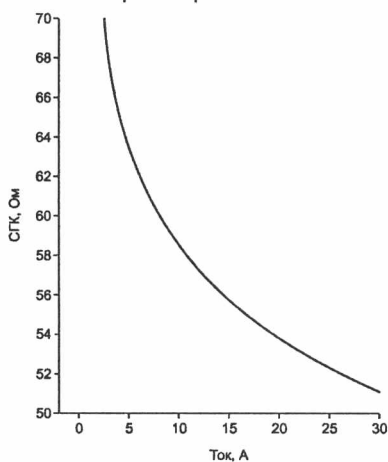


Рис. 8. Изменение СГК при нарастании тока в первой фазе импульса Гурвича-Венина

Список литературы:

1. Krasteva V. T. Transthoracic electrical impedance during external defibrillation: Assessment of the nonlinearity / Centre of Biomedical Engineering – Bulgarian Academy of Sciences.
2. Al Hatib F., Trendailova E. and Daskalov I. Transthoracic electrical impedance during external defibrillation: Comparison of measured and modelled waveforms // *Physiol. Meas.* 2000. Vol. 21. P. 145-153.
3. Гурвич Н.Л., Табак В.Я., Богушевич М.С., Венин И.В., Макарычев В.А. Дефибриляция сердца двухфазным импульсом в эксперименте и клинике // *Кардиология.* 1971. № 8. С. 126-130.
4. Венин И.В., Гурвич Н.Л., Либерзон А.П., Табак В.Я., Цукерман Б.М., Шерман А.М. Дефибрилляторы ДИ-03 и ДКИ-01 // *Новости медицинского приборостроения.* 1973. Вып. 3. С. 48-53.
5. Венин И.В., Гурвич Н.Л., Табак В.Я., Шерман А.М. Схема формирования биполярного дефибриллирующего импульса // *Новости медицинского приборостроения.* 1973. Вып. 3. С. 84-90.

6. Венин И.В., Гонопольский О.Л., Смердов А.А. Исследование разрядного контура дефибриллятора // *Новости медицинской техники.* 1982. Вып. 6. С. 28-32.

Вячеслав Александрович Востриков,  
 д-р мед. наук, ведущ. научный сотрудник,  
 ММА им. И.М. Сеченова,  
 Борис Борисович Горбунов,  
 ведущий инженер-электроник,  
 Алексей Николаевич Гусев,  
 ведущий инженер-электроник,  
 Дмитрий Владимирович Гусев,  
 инженер-электроник,

Московский государственный институт  
 электронной техники  
 (технический университет),

Георгий Пинкусович Иткин,

д-р биолог. наук, зав. лабораторией,

Елена Геннадьевна Копышева,

канд. биолог. наук, мл. научный сотрудник,

Федеральный научный центр

трансплантологии и искусственных

органов им. академика В.И. Шумакова,

Кирилл Андреевич Мамекин,

ведущий инженер-электроник,

Игорь Валерьевич Нестеренко,

ведущий инженер-электроник,

Московский государственный институт

электронной техники

(технический университет),

Марина Николаевна Петухова,

мл. научный сотрудник,

Федеральный научный центр

трансплантологии и искусственных

органов им. академика В.И. Шумакова,

Сергей Васильевич Селищев,

д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой,

Дмитрий Викторович Тельшев,

инженер,

Московский государственный институт

электронной техники

(технический университет),

Сергей Борисович Трухманов,

канд. мед. наук, научн. сотрудник,

Федеральный научный центр

трансплантологии и искусственных

органов им. академика В.И. Шумакова,

г. Москва,

e-mail: vostricov.v@mtu-net.ru