

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ  
ПАРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА  
НА РИТМ ЕГО ЭФФЕКТИВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

*Ю. А. Власов, В. В. Пекарский, А. М. Бессонов*

Институт экспериментальной биологии и медицины (дир. — канд. мед. наук В. И. Фуфин, научный руководитель — проф. Е. Н. Мешалкин) Министерства здравоохранения РСФСР, кафедра общей хирургии (зав. — проф. С. П. Ходкевич) Томского медицинского института

Поступила 20/XI 1967 г.

По-видимому, Маррей был первым, кто показал, что экстрасистола вызывает увеличение рефрактерного периода, в результате чего очередной импульс из синусового узла не вызывает желудочкового сокращения, поэтому после внеочередного сокращения желудочков наблюдается компенсаторная пауза. Все это давно и хорошо известно. Удиви-

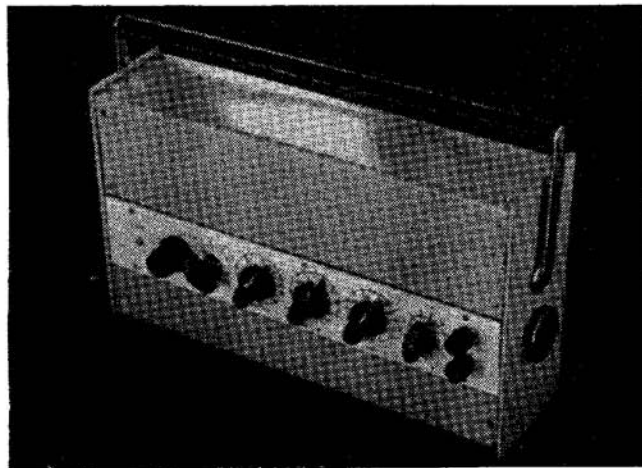


Рис 1. Электрокардиостимулятор для стимуляции сердца одиночными, парными и тройными импульсами.

тельно то, что очень простая мысль — регулярно наносить раздражения на миокард с целью получения регулярно повторяющихся экстрасистол, в результате которых ритм эффективных желудочковых сокращений уменьшался бы ровно в 2 раза, — была практически реализована только теперь. Это объясняется, по нашему мнению, тем, что экстрасистолы были очень прочно связаны с понятием «патология ритма», которую необходимо устранить возможными и доступными средствами, а не стремиться искусственно вызвать, особенно у больного человека. Оказалось необходимым накопить достаточно обширные знания о свойствах и природе сердечного сокращения, чтобы прийти к несколько иному, более глубокому и точному пониманию механизма возникновения экстрасистол.

В 1963—1964 гг. Лопец, Эдедист и Катц предложили метод электрической стимуляции сердца парными импульсами для урежения ритма сердечных сокращений при пароксизмальной тахикардии. Это сообщение вызвало ряд экспериментальных исследований, в которых подверглись изучению различные аспекты парной стимуляции сердца (Braunwald с соавторами; Ross с соавторами; Chardack с соавторами; Hoffman и Cranefield, и др.). Некоторые авторы с успехом применили этот метод в клинике (Langendorf и Pick; Resnekow с соавторами; Bayley и Lightwood; Sheiner и Stock, и др.).

В 1966 г. нами было начато экспериментальное изучение проблемы электрической стимуляции сердца парными импульсами. В. В. Пекарский в соавторстве с группой инженеров (А. Ф. Кутелев, А. К. Пензяков, А. М. Бояршин) сконструировали и изготовили электронный стимулятор, позволяющий проводить стимуляцию сердца одиночными, двойными и тройными импульсами прямоугольной формы длительностью 5 мсек, напряжением до 10 в без синхронизации с сердечными сокращениями. Общий вид стимулятора показан на рис. 1. Блок-схема аппарата приводится на рис. 2. Частота генерирования одиночных, двойных и тройных импульсов регулируется от 45 до 125 в минуту. Время задержки между импульсами (первым — вторым, вторым — третьим) меняется от 50 до 250 мсек. В аппарате предусмотрена звуковая сигнализация. Питание комбинированное, от электрической сети напряжением 220 в или электрических батарей. Габариты  $290 \times 170 \times 75$  мм, вес менее 1 кг.

Работа электрокардиостимулятора была проверена нами в экспериментах на животных, у которых производилась электрическая стимуляция желудочков сердца парными импульсами. Эксперименты выполнены на 7 беспородных собаках. В 6 опытах стимуляция осуществлялась в условиях морфино-гексеналового наркоза и управляемого дыхания. Производили правостороннюю торако- и перикардотомию. Биполярные электроды подшивали к правому желудочку в бессосудистой зоне. Давление в аорте или левом желудочке измеряли электроманометром. Регистрацию давления и ЭКГ осуществляли на двухканальном чернильнопишущем электрокардиографе завода «Красногвардеец». В одном случае электрическую стимуляцию парными импульсами осуществляли у собаки с заранее вживленными электродами без торакотомии.

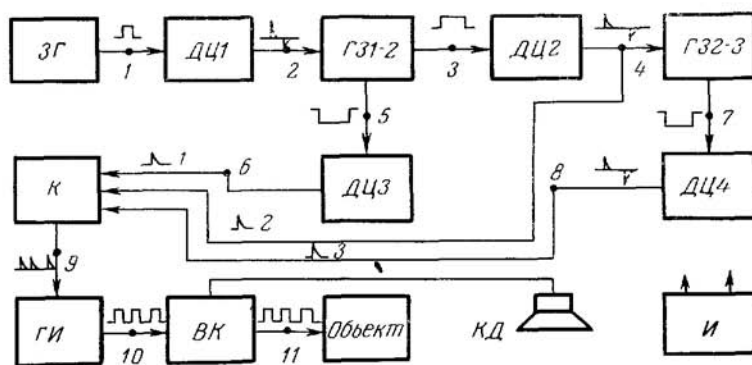


Рис. 2. Блок-схема аппарата.

ЗГ — задающий генератор;  $F=0,5 \div 2,5$  гц; ДЦ1 ÷ ДЦ4 — дифференцирующие цепочки; ГЗ1 — 2, ГЗ2 — 3 — генераторы задержанных импульсов соответственно между 1—2 и 2—3 со временем задержки 50÷250 мсек; К — коммутатор импульсов; ГИ — генераторы импульсов 5 мсек; ВК — выходной каскад;  $U_{\text{вых}}=0 \div 10$  в; КД — контрольный динамик; И — стабилизированный источник питания.

Было выполнено 26 опытов. В каждом опыте интервал между стимулирующими импульсами был постоянным и равнялся 100, 150, 200, 250 мсек, частота стимуляции парными импульсами в опыте менялась от 60 до 120 в минуту. Стимуляцию проводили при различных исходных ритмах сокращения сердца.

Во всех опытах ритм нанесения парных импульсов или возрастал, или убывал. В случаях, когда ритм парных импульсов увеличивался, отмечались следующие изменения. При самом редком ритме регулярно, но через большой промежуток времени достигался эффект удлинения рефрактерного периода. По мере того как ритм парных импульсов нарастал, ранние, искусственно вызванные экстрасистолы появлялись все более часто, и когда ритм парных импульсов достигал половины ритма синусового узла, эффект парной стимуляции был максимальным. В это время только каждый второй импульс из синусового узла вызывал желудочковое сокращение. В результате ритм эффективных сокращений сердца оказывался уменьшенным в 2 раза. Но как только ритм парных импульсов увеличивался еще больше, эффект урежения уже возникал периодически. Когда ритм парных импульсов приближался к ритму синусового узла, ритм сокращений сердца увеличивался. В этом

случае появляется опасность возникновения фибрилляции желудочков, поэтому в наших опытах мы ограничивались кратковременной стимуляцией парными импульсами с максимальной частотой 120 в минуту.

В тех опытах, где парная стимуляция начиналась в высоком ритме и оканчивалась самым редким, описанные изменения наблюдались в обратном порядке. Следует отметить, что во всех опытах, когда ритм парных импульсов был в 2 раза меньше ритма импульсов, исходящих из синусового узла, эффект урежения ритма достигался всегда и был устойчивым.

Принцип парной стимуляции возможен благодаря делению сердечного сокращения на 2 части, следующие в правильном порядке друг за другом. Систола желудочков обладает свойством полной невозбудимости (рефрактерный период), в период диастолы желудочков возбудимость восстанавливается.

Смысл стимуляции парными импульсами состоит в том, что при попадании первого или второго импульса на начало периода восстановления возбудимости возникает искусственная экстрасистола, которая обладает своим рефрактерным периодом. В результате искусственно удлиняется период невозбудимости миокарда желудочков к импульсам, идущим от синусового узла. Если через период, не превышающий длительность электрической систолы, подать второй искусственный стимул, невозбудимость желудочков будет продлена еще на один дополнительный рефрактерный период.

Эффект таких экстрасистол двоякий: полная внеочередная инволюция сердца, прежде всего электрическая, и как следствие этого дополнительное накопление крови в желудочках за счет удлинения диастолы. Гемодинамически это проявляется увеличением ударного объема сердца (Stanefield) и систолического давления во время выброса крови в аорту и падением диастолического давления. Если рефрактерный период после искусственно вызванных экстрасистол совпадает с очередным импульсом из синусового узла, то этот импульс не вызывает желудочкового сокращения. Возникает новый ритм, в котором реализуется только часть импульсов из синусового узла.

Ритм следования искусственных парных импульсов обладает минимальным рассеиванием, так что практически он постоянен. Напротив, естественные водители ритма сердца (синусовый узел, атриовентрикулярный узел и т. д.) генерируют импульсы с большим рассеиванием, вследствие чего заметен разброс в длительности сердечных сокращений, что нарушает синхронность между импульсами синусового узла и парными стимулами, приводя к аритмии, которая в строго определенной последовательности периодически повторяется. Это особенно заметно, если ритм синусового узла и ритм парных импульсов не одинаковы.

Рассмотрим соотношения частоты следования импульсов из синусового узла ( $\chi_{\text{cy}}$ ) и частоты следования парных импульсов ( $\chi_{\text{пи}}$ ).

1. Когда  $\frac{\chi_{\text{cy}}}{\chi_{\text{пи}}} < 1$ , ритм желудочков будет выше спонтанного синусового ритма, т. е. водителем ритма будет генератор парных импульсов. Это случай обычной стимуляции одиночными импульсами.

2. Когда  $\frac{\chi_{\text{cy}}}{\chi_{\text{пи}}} = 1$ , возможны разные эффекты в зависимости от сдвига по фазе между естественными и искусственными импульсами.

а. Если парные импульсы попадают на интервал  $P-T$ , ритм будет прежним, но ведущим станет тот, который раньше вызовет распространение возбуждения в миокарде желудочков. Импульс из синусового узла будет ведущим в том случае, когда оба искусственных импульса попадают на интервал  $Q-T$ , т. е. на период рефрактерности. В качестве примера приводим рис. 3, а, на котором показана ЭКГ животного при стимуляции желудочков парными импульсами. В период  $Q-T$  мио-

кард невозбудим и парные импульсы не достигают цели. Это соотношение наблюдалось нами до тех пор, пока ритм синусового узла не изменялся либо парные импульсы не попадали на другую фазу по произволу экспериментатора. Когда первый из парных импульсов попадает на интервал  $P-Q$ , он становится ведущим, так как вызывает сокращение желудочков раньше, чем к ним придет импульс из синусового узла. Точно так же при попадании первого импульса непосредственно перед зубцом  $P$  он будет ведущим и вызовет сокращение раньше появления импульса из синусового узла. Если в этих случаях сдвиг по фазе постоянен, то эффект парной стимуляции будет наблюдаться как угодно долго.

б. Если парные импульсы попадают на интервал  $T-P$ , когда желудочки уже возбудимы, они вызывают периодически повторяющийся эффект удлинения рефрактерного периода. Когда искусственно вызванный рефрактерный период станет больше периода  $T-P$ , каждый второй импульс из синусового узла и сами двойные импульсы будут по-

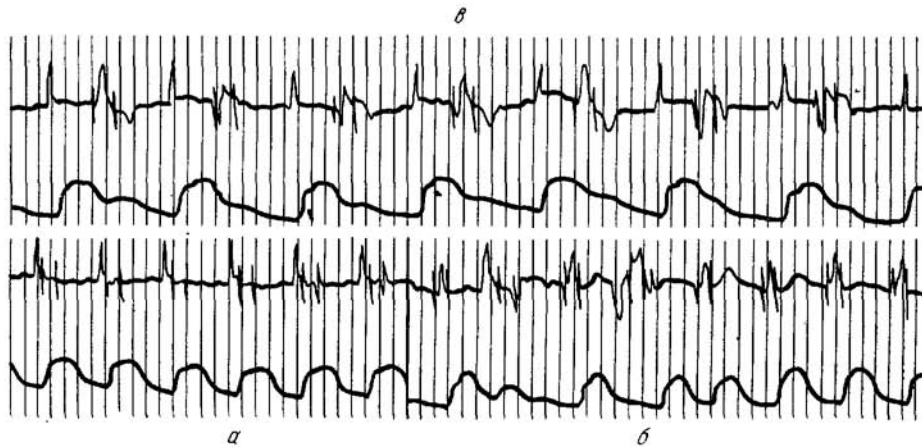


Рис. 3. ЭКГ и кривая записи давления при парной стимуляции.

падать на рефрактерный период. В этом случае первый из парных импульсов оказывается неэффективным, зато второй может вызвать сокращение желудочков (рис. 3, б). Даже при точном совпадении частоты синусового узла и парных импульсов при таком фазовом сдвиге неизбежны сложные эффекты, приводящие к нарушению регулярности сердечных сокращений, которые повторяются строго через определенный период.

3. Когда  $\frac{Ч_{И_{СУ}}}{Ч_{И_{П}}} > 1$ , может достигаться устойчивый эффект урежения частоты сердечных сокращений (если судить по конечному эффекту — пульсовому колебанию давления в аорте и выбросу ударного объема из желудочка в аорту). Допустим, что ритм парных импульсов примерно в 2 раза реже импульсов из синусового узла. Эффектом такого соотношения будет ритм, который приводится на рис. 3, в. Эффект урежения возникает вследствие того, что каждый из 2 импульсов охватывает некоторую часть периода. Величина ее зависит как от параметров импульса (в основном его продолжительности), так и от состояния миокарда и места приложения электродов. Чем больше этот участок, тем больше вероятность попадания на него очередного импульса из синусового узла.

Рассмотрим механизм этого эффекта. По условию период парных импульсов равен удвоенному периоду импульсов синусового узла —  $T_{ПН} = 2 P-P$ . Тогда для того, чтобы происходило урежение ритма из

синусового узла, необходимо парные стимулы сдвинуть на некоторую фазу. Какой должна быть длительность этого сдвига? Рассмотрим рис. 4, а. В этом варианте нет сдвига по фазе, импульсы совпадают по времени, и тогда все решает скорость распространения возбуждения или локализация источника импульсов (расположение электродов). Если скорость распространения возбуждения одинакова, то раньше придет импульс (водителя ритма или электродов), возникающий ближе по месту расположения к желудочкам. Если раньше придет импульс из синусового узла, парные импульсы неэффективны, так как они будут попадать на рефрактерную фазу желудочков. Если раньше приходит парный импульс, то эффект может наступить, когда интервал времени между импульсами будет оптимальным, т. е. когда общий период, состоящий из рефрактерного периода от первого импульса, интервала между концом первого рефрактерного периода и началом второго и второго рефрактерного периода, занимает весь промежуток времени между импульсами из синусового узла. В этих условиях второй импульс из синусового узла попадает на этот затянувшийся рефрактерный период либо

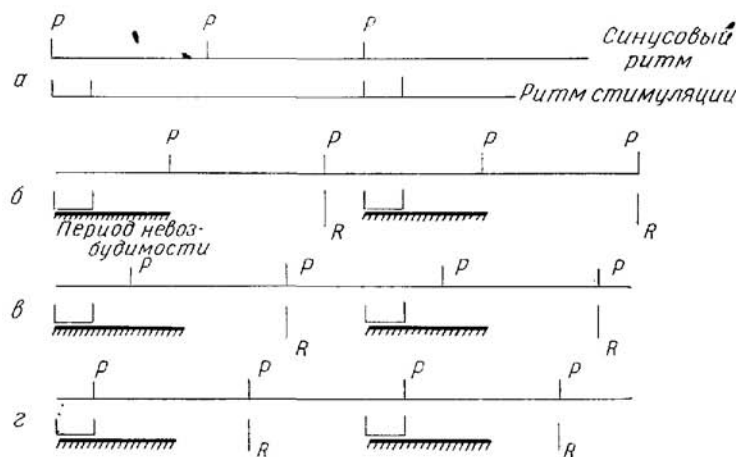


Рис. 4. Схема фазового сдвига парных импульсов.

на его конец, и тогда сокращение, вызванное очередным импульсом из синусового узла, неэффективно. Таким образом, это случай, когда достигается эффект. Рассмотренный вариант может иметь место только при стимуляции желудочков.

У всех других вариантов (рис. 4, б, в, г) отмечается сдвиг по фазе между импульсами. Величина этого сдвига может достигать половины периода синусового ритма, т. е.

$$C_{\phi} = \frac{(P - P)}{2},$$

где  $C_{\phi}$  — сдвиг по фазе,  $P - P$  — период между импульсами, исходящими из синусового узла. При этом общая величина рефрактерного периода ( $T_{\text{реф}}$ ) от парных импульсов должна быть больше величины сдвига по фазе, т. е.  $T_{\text{реф}} > \frac{(P - P)}{2}$ . Предельным случаем окажется  $T_{\text{реф}} = \frac{(P - P)}{2}$ .

Если будет выполняться это равенство, то эффект будет в большей степени зависеть от разброса интервалов ( $P - P$ ). Эффект станет наблюдаться всегда, когда все интервалы  $P - P$  равны. Его не будет в случае, когда имеет место разброс  $P - P$ . При периодичности разброса периодичен и эффект, т. е. возникнет искусственно вызванная аритмия.

Рассмотрим вопрос устойчивости эффекта при нанесении парных импульсов без синхронизации. Урежение ритма устойчиво, если

$$\left[ T_{\text{реф}} - \frac{(P - P)}{2} \right] > \left[ P - P_{\text{макс}} - (P - P)_{\text{мин}} \right].$$

Это означает, что при естественном рассеивании ритма синусового узла каждый второй импульс из синусового узла всегда будет попадать на период  $T_{\text{реф}}$ .

Внеочередные сокращения желудочков (экстрасистолы) могут быть использованы для управления ритмом сокращения желудочков. Для этого используется их свойство удлинять рефрактерный период желудочков. При нанесении раздражения тотчас после окончания обычного сокращения желудочек отвечает внеочередным сокращением. Однако это сокращение настолько слабое, что не сопровождается выбросом крови в аорту, но электрический ответ на раздражение полноценный. В этом и заключается эффект искусственно вызванных экстрасистол: они удваивают или утраивают период рефрактерности, не вызывая полноценного сокращения миокарда желудочков. В результате выбросы ударных объемов в аорту урежаются. Устойчивость такого эффекта может быть достигнута только при строго определенных условиях.

1. Ритм искусственных экстрасистол, вызванных парными импульсами, должен быть ровно в 2 раза реже ритма естественного источника возбуждений.

2. Суммарный рефрактерный период от 2 или 3 экстрасистол должен быть больше полупериода синусового ритма.

3. Разность между длительностью максимального и минимального периода импульсов из синусового узла должна быть меньше разности между периодом искусственно созданной рефрактерности и средним полупериодом синусового ритма.

Во всех других случаях эффект урежения ритма будет наступать только на короткие периоды, перемежаясь с периодами регулярного ритма синусового узла.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Bayley T. J., Lightwood R., *Lancet*, 1966, v. 1, p. 235. — Braunwald E., Ross J. Jr., Frommer P. L. et al. *Am. J. Med.*, 1964, v. 37, p. 700. — Chardack W. M., Gage A. A., Dean D. C., *Am. J. Cardiol.*, 1964, v. 14, p. 385. — Crane-field P. F. (Ed.), *Bull. N. Y. Acad. Med.*, 1965, v. 41, p. 417. — Hoffman B. F., Crane-field P. F., *Am. Heart J.*, 1966, v. 71, p. 143. — Langendorf R., Pick A., *Bull. N. Y. Acad. Med.*, 1965, v. 41, p. 535. — Resnekov L., Sowton E., Lord P. et al. *Brit. Heart J.*, 1966, v. 28, p. 622. — Sheiner L. B., Stock R. J., *Circulation*, 1966, v. 34, p. 759. — Ross J. Jr., Sonnenblick E. H., Kaiser G. A. et al. *Circulat. Res.*, 1965, v. 16, p. 332.

#### THE INFLUENCE OF ELECTRIC STIMULATION WITH PAIR IMPULSES OF VENTRICLES OF THE HEART ON THE RHYTHM OF ITS EFFECTIVE CONTRACTIONS IN EXPERIMENT

*Yu. A. Vlasov, V. V. Pekarsky, A. M. Bessonov*

#### Summary

In experiments on dogs the authors stimulated the ventricles of the heart with pair electric impulses by means of a specially designed apparatus — electrocardiostimulator. Under study was the possibility of decelerating the rhythm of cardiac activity by artificial prolongation of the refractory period with pair electric impulses. The authors found that a stable effect of decelerating the rhythm of cardiac contractions may be obtained only under definite conditions. The rhythm of artificial extrasystoles should be twofold less than the rhythm of the natural source of excitations. The total refractory period from two extrasystoles should be greater the semiperiod of the sinus rhythm. The difference between the duration of the maximal and minimal impulses from the sinus node should be less than the difference between the period of artificially created refractory state and the mean semiperiod of the sinus rhythm.