

УДК 612.171.1

С. И. Страхова

СПОСОБ РАСШИФРОВКИ  
И АНАЛИЗА НАЧАЛЬНОГО  
ЖЕЛУДОЧКОВОГО КОМПЛЕКСА  
ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ

В настоящее время в медицинской практике принята и используется визуальная оценка изменений электрокардиографических кривых, отражающих электрическую активность сердца [1]. Визуальная оценка естественным образом приносит субъективный компонент в диагностику. Существует несколько направлений рационализации диагностического процесса. Вероятно, наиболее оптимальный путь поиска удобных диагностических признаков (и с точки зрения диагностирования заболевания, и с точки зрения эффективного использования ЭВМ для обработки ЭКГ-кривых) заключается в разработке математической модели, адекватно описывающей механизм электровозбуждения сердца. К сожалению, детали этого механизма пока не совсем ясны [2].

Большое внимание в современной электрофизиологии уделяется проблеме кодирования информации, заключенной в ЭКГ-кривой. Из общих соображений вся информация, содержащаяся в ЭКГ-кривой, может быть закодирована коэффициентами разложения этой кривой по любому известному полному набору функций. Число используемых базисных функций определяет точность разложения. Конкретные попытки использовать такую схему пока не выявили особых преимуществ ее по сравнению со стандартным медицинским способом анализа характеристических интервалов и амплитуд зубцов ЭКГ-кривых [3].

Нам представляется полезным и важным рассмотрение на данном этапе задачи параметризации ЭКГ-кривой с помощью эмпирической формулы. Создается впечатление, что анализ ЭКГ-кривых на языке параметров позволил бы, с одной стороны, избавиться от значительной доли субъективизма при определении диагноза и прогноза развивающихся патологических процессов в миокарде, а с другой стороны, решить и проблемы кодирования как таковые.

**Параметризационная формула.** В принципе параметризация сложной кривой типа электрокардиографической может быть осуществлена с помощью большого числа различных формул с большим или меньшим числом параметров. Предпочтение должно быть отдано формуле, которая не противоречит известным сведениям о механизме электрических явлений в миокарде; содержит параметры, которым можно приписать конкретный диагностический смысл, и в техническом плане обеспечивает возможность широкого использования ее в практике.

В процессе поиска подходящих формул мы обращаем внимание на визуальное сходство QRS-комплекса ЭКГ-кривых в различных отведениях с кривыми, описывающими взаимодействие двух квазистационарных уровней на фоне одного континуума в теории резонансных атомных реакций. Последние достаточно просто параметризуются по теории Фано [4].

Визуальное сходство кривых дает основания провести «формульную» аналогию и предположить, что потенциал любой точки поверхности сердца  $V$  в зависимости от времени  $t$ , обусловленный электрической активностью желудочков, в случаях нормы и патологии может быть описан формулой (ее удобно записывать в представлении комплексных чисел)

$$V(t) = A \left| \frac{K_1 + E_1}{E_1 + i} + B \frac{K_2 + E_2}{E_2 + i} \right|^2 - C. \quad (1)$$

Здесь  $E_{1,2} = (t - T_{1,2}) / \frac{1}{2} \cdot \Gamma_{1,2}$ .

Конкретная ЭКГ-кривая (ее начальный желудочковый комплекс) кодируется тем самым набором параметров формулы (1):  $A, B, C, T_1, T_2, \Gamma_1, \Gamma_2, K_1, K_2$ .

Задача аппроксимации некоторой кривой при помощи параметрической формулы, возникает ли она в физике или в медицине, с точки зрения математики стандартна. В настоящей работе обработка кривых проводилась на ЭВМ БЭСМ-6 (быстродействие 1 000 000 операций в секунду) с использованием программы ФУМИЛИ, входящей в стандартное математическое обеспечение этой машины. Требовалось 6—10 мин машинного времени для обработки кривой в одном отведении. На рис. 1 в качестве иллюстрации приведены результаты обработки начального желудочкового комплекса ЭКГ-кривой в отведении  $V_6$  мальчика 8 лет<sup>1</sup>. Неопределенность ЭКГ-кривой считалась

<sup>1</sup> Автор благодарит сотрудников НИИ педиатрии и детской хирургии МЗ РСФСР за возможность использования в работе ЭКГ здорового ребенка.

одинаковой во все моменты времени и полагалась равной 0,01 мВ. В память ЭВМ заносились точки этой кривой с шагом 0,01 с.

Параметризация ЭКГ-кривых по формуле (1) может быть выполнена в больших масштабах и установлена область значений каждого параметра в каждом отведении в случае нормы. Анализ электрической активности желудочков в случаях патологии может проводиться путем определения степени отклонения значений параметра от области его значений в случае нормы или от значения, полученного в предыдущем измерении.

#### Диагностический смысл параметров.

Для выяснения диагностического смысла параметров была предпринята прогонка формулы (1) по разным параметрам и их сочетаниям и проведено сопоставление форм полученных кривых с имеющимися в

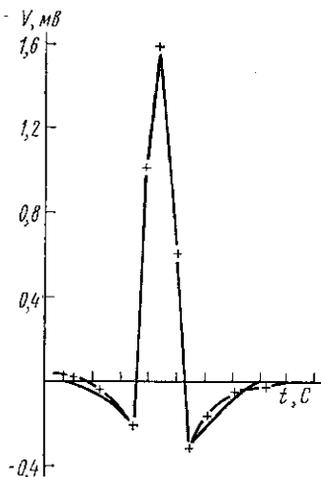


Рис. 1. Начальный желудочковый комплекс ЭКГ-кривой в отведении  $V_6$  ребенка 8 лет (сплошная кривая); крестиками помечена кривая, рассчитанная по формуле (1) с параметрами  $T_2 - T_1 = 0,023$  с;  $\Gamma_1 = -0,014$  и  $\Gamma_2 = 0,008$  с;  $K_1 = -2,1$ ;  $K_2 = -4,3$ ;  $B = 1$ ;  $A = -0,1$  мВ;  $C = 0,4$  мВ. Одно деление шкалы времени соответствует 0,02 с. Ошибки параметров не превышают от абсолютного значения

$K_2$	1	2	0
$\alpha$			
$\delta$			
	Острая стадия	Средняя стадия	Через месяц

Рис. 2.  $\alpha$  — расчет по формуле (1), меняется только параметр  $K_2$ ; значения остальных параметров при расчете фиксированы:  $T_2 - T_1 = 0,023$  с;  $\Gamma_1 = 0,014$  и  $\Gamma_2 = -0,008$  с;  $K_1 = -1$ ;  $B = 1$ ;  $A = -0,1$  мВ;  $C = 0,4$  мВ.  $\delta$  — QRS-комплекс ЭКГ в III отведении большого с инфарктом задней стенки левого желудочка на различных стадиях процесса

печатной медицинской литературе ЭКГ-кривыми для случаев нормы и патологии. Прогонка осуществлялась на ЭВМ «Мир-1» (быстродействие 2 000 операций в секунду). Результаты проведенного анализа следует рассматривать как предварительные и ориентировочные, поскольку мы были ограничены в подборе ЭКГ-кривых, иллюстрирующих динамику патологического процесса, а точность их воспроизведения в печатной литературе позволяла ориентироваться на сравнение кривых в основном по форме. Пример такого сопоставления приведен на рис. 2<sup>2</sup>.

Такой предварительный анализ позволяет связать группу параметров  $T_1$ ,  $\Gamma_1$ ,  $K_1$  с характеристиками электрической активности правого желудочка, а параметры  $T_2$ ,  $\Gamma_2$ ,  $K_2$  — с характеристиками левого желудочка. При этом разность  $T_2 - T_1$  может быть связана с запаздыванием во времени момента возбуждения левого желудочка относительно момента возбуждения правого, параметры  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  — с продолжительностью во времени электрической активности желудочков.

Форма возникающего комплекса, как показывают результаты прогонки (пример на рис. 3), в значительной степени определяется параметрами  $K_1$  и  $K_2$ . По-видимому, они в основном отражают степень искажения возникающих импульсов при прохождении их через миокард и тем самым могут быть связаны с характеристиками проводящей среды. Параметры  $A$ ,  $B$ ,  $C$  определяют соотношение амплитуд напряжения в желудочках с амплитудой пейсмекерного потенциала.

<sup>2</sup> См.: Дехтярь Г. Я. Электрокардиография. М., 1952, с. 201.

Уточнение диагностического смысла параметров позволит точнее локализовать патологическое звено в цепи возможных нарушений электрической активности желудочков сердца при анализе патологических ЭКГ-кривых.

Автор благодарит профессора В. В. Балашова, а также всех участников теоретического семинара ЛТП НИИЯФ за полезные дискуссии.

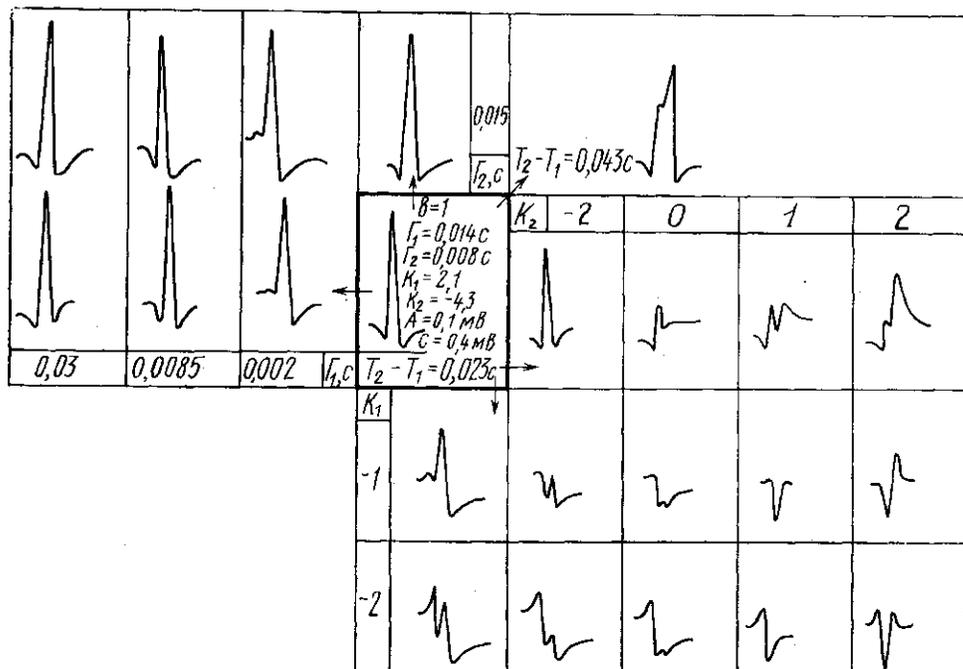


Рис. 3. Эволюция приведенной в центре кривой при изменении параметров

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дехтярь Г. Я. Электрокардиография. М., 1952; Электрокардиографическая диагностика. М., 1966.
2. Фолков Б., Нил Э. Кровообращение. М., 1976.
3. Янушкевичус З. И., Валужис К. К., Витенштейнас Г. А., Эрлицкиге Д. А. Статистическая электрофизиология. Ч. I. Вильнюс, 1968, с. 662—673.
4. Fano U. — «Phys. Rev.», 1961, 124, 1866.

Поступила в редакцию  
31.5 1977 г.  
НИИЯФ

УДК 621.372

А. В. Козарь

Магди Фахим (АРЕ)

Ю. А. Пирогов

### ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ СОГЛАСУЮЩИХ СТРУКТУР

В работе [1] показано, что посредством многослойных структур можно осуществлять эффективное согласование импедансов нагрузки и линии передачи. При рассмотрении одночастотной задачи, подобной [1], в качестве согласующих выбираются четвертьволновые слои слабопоглощающего материала. Задача о согласовании импедансов с помощью таких структур в полосе частот не рассматривалась. В настоящей