

В. Р. Цибульский, О. И. Сергейчик, В. А. Кузнецов
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ
ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ
ОТ ИЗМЕНЕНИЯ СЕГМЕНТА ST

Предложен метод повышения чувствительности диагностики ИБС по изменениям смещения сегмента ST за счет перехода в частотную область анализа. Приведены результаты частотного анализа идеализированной (нормальной) ЭКГ, что в дальнейшем позволяет провести комплексные исследования корреляционных зависимостей реальных ЭКГ по отношению к нормальным и тем самым повысить чувствительность анализа.

В настоящее время сердечно-сосудистые заболевания, прежде всего ишемическая болезнь сердца, являются основной причиной смертности населения промышленно развитых стран мира [9,12]. Профилактика, ранняя и своевременная диагностика ИБС — важная клиническая, социальная и экономическая мера, направленная на укрепление здоровья людей, увеличение продолжительности их активной жизни [11].

Доказано, что для диагностики ИБС имеют важное значение исследования изменений сегмента ST [1, 14].

В последние годы анализ изменения сегмента ST электрокардиограммы в динамике проводится с помощью компьютера, так как визуальная оценка изменений ЭКГ во время функциональных проб может приводить к ошибочной трактовке результатов. Для устранения этой субъективности предложены количественные критерии определения депрессии сегмента ST [1, 7, 13]. Отмечается, что этот прогрессивный метод позволяет повысить диагностическую значимость и чувствительность пробы с нагрузкой при диагностике ИБС.

В настоящее время разработан и производится широчайший спектр электрокардиографического оборудования, предназначенного для мониторно-компьютерного анализа ЭКГ [10].

В работе Г. С. Исаханяна [7] представлены диагностические возможности использования количественных изменений площади комплекса ST-T электрокардиограммы при ишемической болезни сердца. Площадь комплекса ST-T условно принималась положительной (+), если составляющая ее кривая находилась выше изоэлектрической линии, и отрицательной (-), если измеряемые площади расположены ниже изоэлектрической линии. В случае, если интервал ST-T не был отклонен от изоэлектрической линии, а зубец T сглажен, площадь равнялась нулю. Конечная часть желудочкового комплекса ЭКГ количественно рассчитывалась путем сложения площадей, составленных изоэлектрической линией и сегментом ST, изоэлектрической линией и зубцом T. С целью определения в рассматриваемых группах больных степени патологического отклонения конкретных площадей ЭКГ отдельно сгруппированы случаи их уменьшения и увеличения.

Динамический анализ количественных характеристик сегмента ST может проводиться по следующим параметрам: смещение, наклон, площадь смещения сегмента ST [5]. Измерение этих параметров требует обозначения трех точек измерения: точка изоэлектричности (ST-0) на интервале PQ; точка ST-1 или точка J — конец зубца R или точка на расстоянии 45 мс от верхушки зубца R; точка измерения снижения и наклона, или ST-2.

Компьютерный анализ исходит из сравнения взаимного положения двух точек ST-0 и ST-2 при оценке смещения и точек ST-2 и ST-1 при оценке наклона. Во время автоматического анализа точки выставляются в стандартных запрограммированных местах. Новейшие регистраторы, производящие цифровой анализ сегмента ST, имеют функцию измерения сегмента ST еще перед началом 24-часового анализа и возможность корректирования в случае необходимости. Каждая анализирующая система позволяет проводить индивидуальную расстановку описанных точек для каждого нового разового анализа сегмента ST.

В ряде работ сделаны попытки классифицировать события различных смещений сегмента ST и связать их с диагностическими признаками, например при холтеровском мониторинге [1, 15].

Однако наметившаяся в последнее десятилетие тенденция интенсивного внедрения компьютерного анализа электрокардиограмм и других кардиологических рядов выдвигает некоторые новые задачи: увеличение точности и чувствительности, выявление функциональных зависимостей между традиционными параметрами кардиологических временных рядов и показателями принятия решений при диагностике ИБС или других кардиологических заболеваний. Решение этой задачи возможно с привлечением средств современных информационных технологий. В данной статье делается попытка перейти из временной области анализа электрокардиограмм в частотную, предполагая, что в настоящее время чувствительность частотных методов измерения и анализа значительно выше, чем временных. Приводятся результаты вычислительного эксперимента с моде-

лю «нормальной» электрокардиограммы здорового человека, полученной как нечто среднее из практики и литературного обзора [3, 6] (рис. 1).

В данной электрокардиограмме были смоделированы изменения — смещения сегмента ST: параллельное оси, косовосходящее и косонисходящее (рис. 2) [1] — и обработаны пакетом программ спектрального анализа [8].

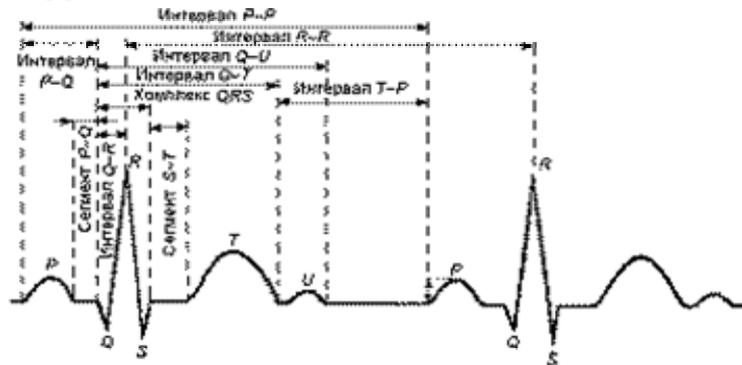


Рис. 1. Нормальная ЭКГ

Числовые характеристики этих вариантов ЭКГ приведены в табл. 1, 2. Однако, прежде чем проводить частотные исследования идеализированной ЭКГ, приведем ее статистические характеристики (см. табл. 1) и получим эмпирическое выражение кардиологического временного ряда. Причем эти функции получим на основе двух методов спектрального анализа: преобразования Фурье и метода Прони. Первый из них дает формальный спектр, кратный времени рассматриваемой реализации (в нашем примере $T = 1000$ сек), второй реальный спектр получен на основе оптимизации по методу наименьших квадратов.

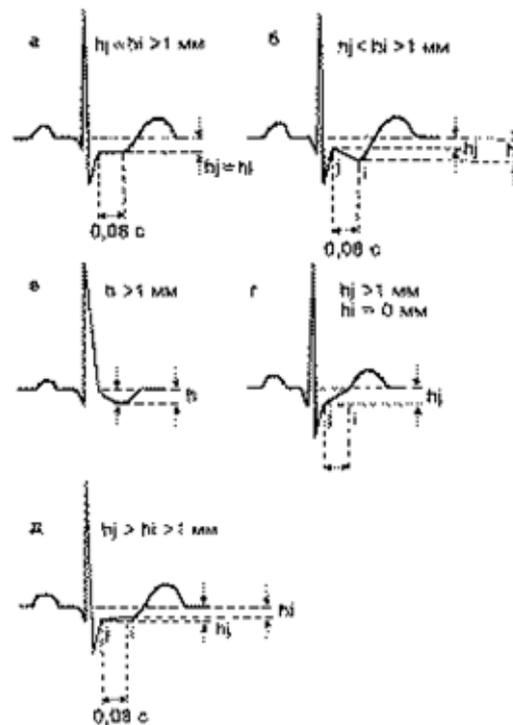


Рис. 2. Структура и виды смещения сегмента ST

**Статистические характеристики нормальной ЭКГ
и различных вариантов смещения сегмента ST**

	Нормальная ЭКГ	ЭКГ с вариантами смещения сегмента ST			
		а	б	г	д
Количество точек	1000	1000	1000	1000	1000
Минимальное значение	-0,294120	-0,294120	-0,294120	-0,294120	-0,294120
Максимальное значение	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
Диапазон	1,294120	1,294120	1,294120	1,294120	1,294120
Среднее значение	0,102480	0,090845	0,087433	0,097809	0,093739
Стандартное отклонение (несмещенная оценка)	0,188930	0,197791	0,201304	0,192357	0,195654
Стандартное отклонение (центрированная оценка)	0,188835	0,197692	0,201204	0,192261	0,195556
Медиана	0,011765	0,011765	0,009412	0,011765	0,011765
Момент порядка 1	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Момент порядка 2	0,035659	0,039082	0,040483	0,036964	0,038242
Момент порядка 3	0,014445	0,014937	0,014888	0,014670	0,014819
Момент порядка 4	0,011673	0,012537	0,012876	0,012002	0,012311
Момент порядка 5	0,008663	0,009328	0,009507	0,008928	0,009161
Средний квадрат	0,046161	0,047335	0,048127	0,046531	0,047029
Энтропия	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
Удельная энтропия	0,023080	0,023667	0,024064	0,023265	0,023515

Таблица 2

Площади смещения сегмента ST различных вариантов

а	б	г	д
16	20	8	22

Для получения вышеуказанных характеристик перед спектральным анализом приведем статистику исходного ряда табл. 1 и удалим тренд первой степени, который может иметь место в результате случайных ошибок при оцифровке ряда.

Его выражение:

$$U_0(f) = 0,116547 \cdot f - 2,81615$$

Спектры Фурье и Прони идеализированной ЭКГ с удаленным трендом приведены на рис. 3.

$$U_n = U(n \Delta f)$$

Если исходный ряд представить в виде U_n , где U_n — дискретная последовательность отсчетов ЭКГ, $n = 1000$, $\Delta f = 1$ сек, то дискретное преобразование Фурье будет определяться как

$$U_{df} = \sum_{n=0}^{999} U_n \exp(-j2\pi \cdot m \cdot n / 1000)$$

где $m = 0, \dots, 999$ — индекс отсчетов частотной характеристики, причем $f = m \Delta f$.

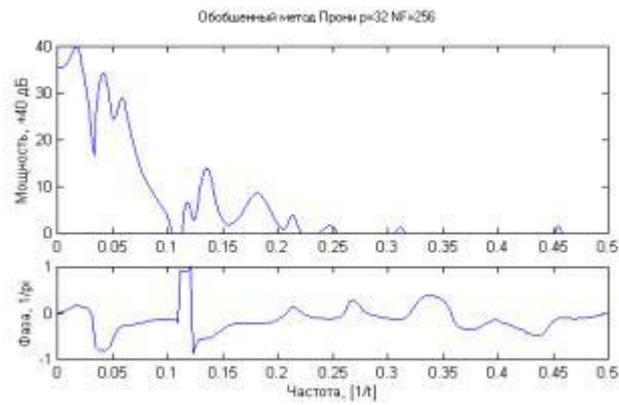
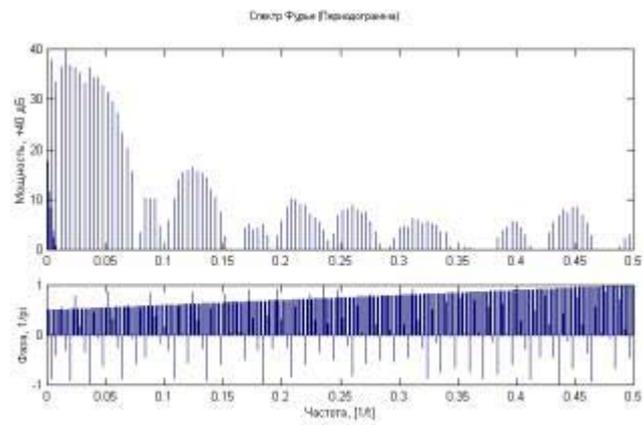
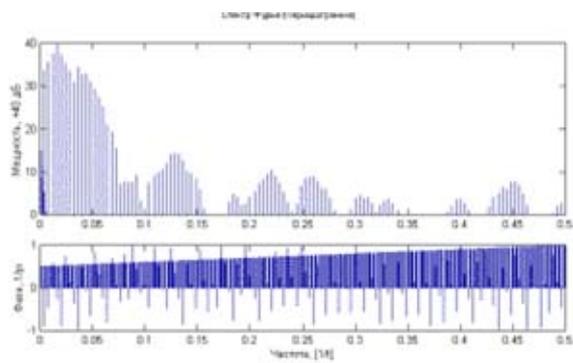


Рис. 3



б

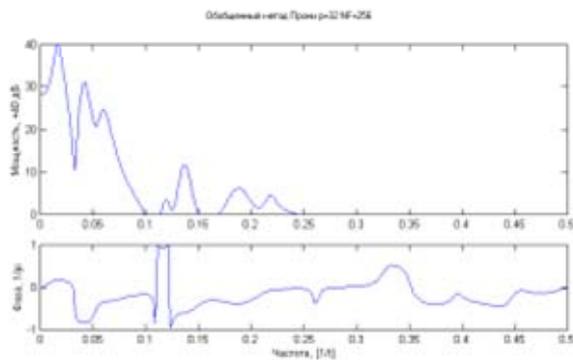
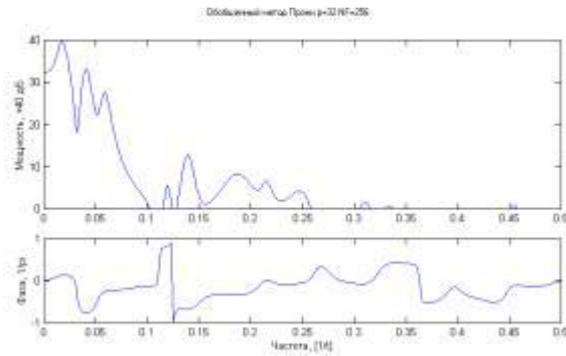
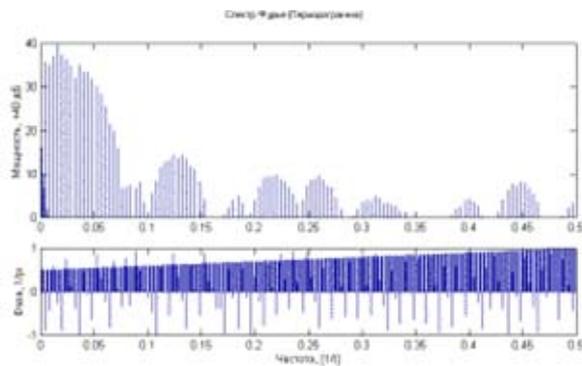


Рис. 4. Спектральные характеристики смещения сегмента ST

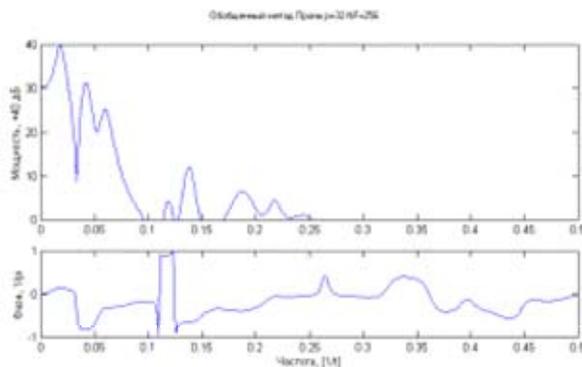


Г

Д



Д



Окончание р и с . 4

Для Прони спектра, когда процесс представляет собой сумму вещественных незатухающих синусоид и шума, частотная характеристика выглядит как полином:

$$\hat{U}_m = \sum_{m=1}^p U_m \cos(2\pi f_m n \Delta t + \theta_m)$$

где p — количество гармоник в исходном процессе; q_m — фаза каждой из них. Приведенные выражения спектральных характеристик могут помочь при поиске некоей чувствительной по отношению к смещению сегмента ST компоненты.

Введем в исходную идеализированную ЭКГ поочередно варианты смещения сегмента ST (см. рис. 2, а, б, г, д) и получим для них частотные характеристики, как в предыдущем случае (рис. 4, а, б, г, д).

Даже беглый анализ амплитудочастотных характеристик, приведенных на этих рисунках, позволяет сделать вывод о значительных отличиях формы. Наиболее существенные различия находятся в диапазоне частот $(0,1,0,25) \cdot 1/T$, т. е. по оси абсцисс. Кроме того, наблюдаются значительные отличия амплитуды на частоте $0,03 1/T$.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: смещение сегмента ST существенно влияет на форму реального спектра ЭКГ, что позволяет надеяться на значительное повышение чувст-

вительности распознавания этих событий и возможность получения достаточно надежной функциональной зависимости между смещениями сегмента ST и частотными свойствами ЭКГ.

Важным результатом можно считать введение в практику частотного анализа идеализированной (нормальной) ЭКГ и ее частотных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аронов Д. М., Лупанов В. П., Михеева Т. Г.* Функциональные пробы в кардиологии. Лекции II, III, IV // Кардиология. 1995. № 8. С. 79–86, 87; № 12. С. 83–93.
2. *Блужас И. Н., Бабарскене Р. С., Гаулене А. П., Лукшене Д. В., Шлапикене Б. Г.* Транзиторные изменения комплекса ST-T у больных со стабильной стенокардией напряжения при 24-часовом мониторинге ЭКГ // Кардиология. 1986. № 7. С. 19–22.
3. *Вартак Ж. М.* Интерпретация электрокардиограммы. М.: Медицина, 1978. С. 152.
4. *Вежиньска Б., Токарева Е. А., Ярошевская Ф. М., Лякишев А. А., Руда М. Я.* Значение суточного холтеровского мониторинга ЭКГ в оценке безболевого эпизода снижения сегмента ST у больных ишемической болезнью сердца // Кардиология. 1990. № 4. С. 57–60.
5. *Дабровски А., Дабровски Б., Пиотрович Р.* Суточное мониторирование ЭКГ. М.: Медпрактика, 1998. 57 с.
6. *Доцицин В. Л.* Клинический анализ электрокардиограммы. М.: Медицина, 1982. С. 208.
7. *Исаханян Г. С.* Диагностическая ценность некоторых количественных показателей ЭКГ при ишемической болезни сердца // Кардиология. 1982. № 1. С. 102–103.
8. *Мельников В. П., Цибульский В. Р., Китаев В. В.* Временные ряды в геокардиологии. Новосибирск: Наука, 1992. С. 124.
9. *Оганов Р. Г.* Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в России и некоторые влияющие на нее факторы // Кардиология. 1994. № 4. С. 80–88.
10. *Тихоненко В. М.* Возможности современных холтеровских систем // Мир медицины. 1999. № 3–4. С. 30–33.
11. *Чазова Л. В., Калинина А. М.* Влияние многофакторной профилактики сердечно-сосудистых заболеваний на прогноз жизни (10-летнее наблюдение) // Тер. архив. 1998. № 1. С. 8–12.
12. *Чирейкин Л. В., Шестов Д. Б., Тожиев М. С., Плавинская С. И., Хоптяр В. П.* Распространенность ишемической болезни сердца и ее связь с основными факторами риска среди мужчин организованного и неорганизованного населения по данным кардиологического скрининга // Кардиология. 1994. № 4. С. 20–23.
13. *Фитилев С. Б., Савенков М. П., Люсов В. А.* Диагностическое значение интегрального определения ишемии миокарда у больных ишемической болезнью сердца при мониторно-компьютерном анализе ЭКГ во время пробы на тредмиле // Кардиология. 1982. № 9. С. 82–84.
14. *Шалаев С. В.* Острые коронарные синдромы без подъема сегмента ST на ЭКГ: стратегия диагностики и лечения, основанная на оценке степени риска // Consilium medicum. 2000. Т. 2, № 11. С. 448–453.
15. *Hurst J. Willis.* Abnormalities of the S-T segment. Part 1. Clin. Cardiol. (US). 1997. 20, № 6. 511–520.