ной формой ГЭРБ, получавших только лекарственную терапию, и 30 пациентов с хроническим диффузным гастритом.

Материал для морфологического исследования получали из кардиального отдела пищевода. Активность NO-синтазы изучали иммуноцитохимическим методом с применением кроличьих поликлональных антител к NO-синтазе (ICN, Costa Mesa, USA, титр 1:2000).

В кардиальном отделе пищевода у пациентов с хроническим гастритом число эпителиоцитов, иммунопозитивных к NO-синтазе, составило 44,5±2,7 на 1 мм^2 слизистой оболочки. В фазе обострения ГЭРБ наблюдалась достоверная гиперплазия NO-синтаз-продуцирующих клеток пищевода (94,7±5,2 на 1 мм^2 слизистой оболочки, $p<0,05$).

Проведенные морфофункциональные исследования показали, что при использовании в комплексной схеме лечения больных ГЭРБ минеральной воды в слизистой оболочке пищевода количество клеток, продуцирующих NO-синтазу, нормализуется (47,4±2,8 на 1 мм^2 слизистой оболочки) и соответствует показателям у больных хроническим гастритом. В группе пациентов с ГЭРБ, которым проводилось только медикаментозное лечение, хотя и отмечается положительная динамика со стороны исследуемых клеток, однако в слизистой оболочке пищевода сохраняется их достоверная гиперплазия (57,5±4,8 на 1 мм^2 слизистой оболочки, $p<0,05$).

Положительная динамика клеток пищевода, продуцирующих NO-синтазу, свидетельствует о влиянии минеральной воды «Кисловодский Нарзан» на патогенетические звенья гастроэзофагеальной рефлюксной болезни и, следовательно, о целесообразности ее использования при лечении данного контингента больных.

АНАЛИЗ НИЗКОАМПЛИТУДНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ

Щербакова Т.Ф., Седов С.С., Козлов С.В., Култынов Ю.И. Инсаров А.Ю.
Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, Казань

В настоящее время одним из направлений развития электрокардиографии является анализ низкомаплитудных потенциалов (НАП), возникающих на электрокардиосигнале (ЭКС). Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, НАП заключают в себе важную диагностическую информацию о состоянии сердца пациента. Во многих случаях даже сам факт их наличия на ЭКС позволяет повысить качество и информативность диагноза. Тем более важно не только зафиксировать НАП, но и измерить их параметры. Во-вторых, бурный рост компьютерной техники позволяет без труда применять для анализа НАП математические методы, зачастую требующие большого объема вычислений.

Из вышесказанного следует, что задача анализа НАП на ЭКС и измерения их параметров является на сегодняшний день весьма актуальной задачей. Она может быть успешно решена при помощи вероятностных методов обработки электрокардиосигналов. Рассмотрим применение этих методов на примере анализа одного из видов НАП - поздних потенциалов желудочков сердца (ППЖ).

Поздние потенциалы желудочков [1,2], которые возникают в конце комплекса QRS и первой трети сегмента ST. Их наличие говорит о повышенной (до 50%) вероятности возникновения и развития у данного пациента аритмий сердца, в том числе и опасных для жизни. Поэтому своевременное обнаружение ППЖ чрезвычайно важная задача. Ее решение позволяет еще до наступления аритмии заранее принять меры к ее недопущению.

Однако, проблема регистрации ППЖ заключается в том, что на обычной электрокардиограмме они теряются в шумах, так как их максимальная амплитуда не превышает 30 мкВ. Для повышения отношения сигнал/шум широко применяется временное усреднение ЭКС. Опорной точкой при суммировании кардиоциклов служит вершина пика R. При регистрации ППЖ наиболее распространен метод Симсона [2].

ЭКС по методу Симсона снимается с поверхности тела человека по трем биполярным ортогональным отведениям X, Y, Z. Предварительная аналоговая обработка сигнала заключается в усилении сигнала в 2000 – 5000 раз и фильтрации его для каждого отведения в отдельности. Далее ЭКС преобразуется в цифровую форму с частотой дискретизации $F_Д$=1000 Гц и усредняется во времени по вершине пика R. Затем усредненные сигналы фильтруются цифровым фильтром высоких частот с частотой среза 25 Гц. Затем по ним вычисляется амплитуда вектора ЭДС сердца, которая носит название фильтрованного QRS-комплекса (FQRS).:

$$r = \sqrt{U_X^2 + U_Y^2 + U_Z^2}\ , \qquad (1)$$

где U_X, U_Y, U_Z - усредненные и фильтрованные ЭКС X, Y, Z соответственно.

Анализ ППЖ представляет собой вычисление трех амплитудно-временных параметров FQRS:

1. Длительность фильтрованного QRS комплекса - $\mathbf{D_{FQRS}}$.
2. Длительность низкоамплитудной (ниже 40 мкВ) части заднего фронта QRS комплекса - **LAS**.
3. Среднеквадратичная амплитуда за последние 40 мс FQRS - **RMS.**

Критерием наличия ППЖ является превышение хотя бы двумя из трех вышеперечисленных параметров следующих порогов: $\mathbf{D_{FQRS}}$>120 мс; **LAS**>39 мс; **RMS**<25 мкВ [2]. В противном случае делается вывод об отсутствии ППЖ.

Значения параметров метода Симсона зависят от временного положения двух характерных точек FQRS - его начала T_H и конца T_K. Поэтому эффективность алгоритма анализа наличия ППЖ на ЭКС определяется величиной ошибки вычисления временного положения T_H и T_K - $\tau_{ош}$. Эта ошибка значительно уменьшается в результате применения вероятностных методов при определении точек.

Для нахождения точки T_K ищется участок ΔT_C длиной 5 мс, среднее значение амплитуды которого m_C. превышает порог:

$$m_C > m_{Ш} + 3 \cdot s_{Ш}. \quad (2)$$

где, $m_Ш$ и $\sigma_Ш$ - среднее значение и С.К.О. амплитуды участка шума на FQRS.

Найденный ΔT_C содержит внутри себя точку T_K. Далее участок ΔT_C делится пополам и точка половинного деления принимается за точку конца фильтрованного комплекса QRS - T_K. При этом средняя ошибка $\tau_{ош}$. составляет 1,2 мс [2], а максимальная ошибка - 2,5 мс. Этот способ (деление ΔT_C пополам) хорошо работает при уровне шумов на FQRS не более 1,5 мкВ.

При большем уровне шумов из-за малой длины ΔT_C он может быть найден неверно и истинная точка T_K окажется вне ΔT_C; поэтому длину ΔT_C надо увеличить. Но это приводит существенному возрастанию $\tau_{ош}$. В нашем исследовании (346 пациентов) при уровне шумов до 4 мкВ длина ΔT_C составила 30 мс; только тогда T_K попадала внутрь ΔT_C во всех случаях. При этом $\tau_{ош}$ составила 7,2 мс в среднем, а максимальная ошибка - 15 мс. Это недопустимо т.к. примерно в половине случаев привело к неверному решению о наличии или отсутствии ППЖ на ЭКС.

Было предложено вместо деления ΔT_C пополам для нахождения точки T_K применить статистический алгоритм проверки гипотез о временном положении точки T_K внутри ΔT_C. Отсчеты FQRS следуют через 1 мс и ΔT_C содержит 30 отсчетов. Поэтому были выдвинуты 30 гипотез о принадлежности точки T_K каждому из отсчетов. Для каждой из гипотез вычислялась целевая функция и по максимуму целевой функции принималось решение о временном положении точки конца комплекса QRS.

Построим целевую функцию на основе критерия максимального правдоподобия [3]:

$$W(\rho_N | H_i) = \prod_{k=1}^{i-1} w_0(\rho_k) \cdot \prod_{k=i}^{N} w_1(\rho_k), \quad (3)$$

где H_i - гипотеза; w_0 - плотность распределения вероятностей сигнала (заднего фронта FQRS); w_1 - плотность распределения вероятностей шума (сегмента ST FQRS). Будем принимать как правильное решение ту гипотезу, для которой функция (3) окажется максимальна:

$$W(\rho_N | M_j) \geq W(\rho_N | M_i); \quad j \neq i; i = \overline{2,30}, \quad (4)$$

В работе [4] были найдены плотности распределения вероятностей w_0 и w_1 с учетом различного характера изменений заднего фронта FQRS у разных пациентов (было выделено 3 класса) и сегмента ST (выделено 2 класса). Поэтому общее выражение (3) конкретизируется в нашем исследовании:

$$W(\rho_N | H_i) = \prod_{k=1}^{i-1} \sum_{j=1}^{3} q_{jc} w_c(\rho_k) \cdot \prod_{k=i}^{N} \sum_{l=1}^{2} q_{lщ} w_{щ}(\rho_k) \quad (5)$$

$q_{jш}$ и q_{jc} - весовые коэффициенты выделенных классов для областей сегмента ST и заднего фронта FQRS соответственно.

При определении временного положения точки T_k с использованием алгоритма (5) были получены следующие результаты.

Ошибка определения T_k составила в среднем 1,1 мс, что вполне приемлемо с практической точки зрения для автоматизированного диагностического комплекса. Эта ошибка примерно равна ошибке стандартного метода Симсона, однако в нашем исследовании допускался гораздо больший уровень шумов (до 4 мкВ).

Всего с использованием статистического алгоритма (5) было исследовано 173 пациента. При этом в 150 случаях наблюдалось полное совпадение в оценке точки алгоритмом и врачами-экспертами. Ошибочных определений ППЖ наблюдалось всего 8 из 173; в том числе 5 случаев пропуска ППЖ и 3 случая ложного обнаружения ППЖ, т.е. всего было 4.6% неверных решений относительно ППЖ при применении статистического алгоритма.

Таким образом, в результате применения статистического алгоритма (3) существенно повысилась достоверность проводимого автоматического анализа ППЖ. Это, в свою очередь позволило улучшить качество и расширить возможности ранней диагностики различных аритмий сердца. Данный алгоритм ценен еще и тем, что он достаточно просто реализуется на компьютере и без существенных изменений может с успехом применяться для более точного анализа других видов НАП, например, таких как поздние потенциалы предсердий или вызванные потенциалы головного мозга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Г.Г. и др. Электрокардиография высокого разрешения: некоторые итоги 4-летних исследований Кардиология. 1994. № 5. С. 22 - 25.

2. Simson M. B. Use of signal in the terminal QRS komplex to identify patients with ventricular tachycardia after myocardial infarction. Circulation. 1981. Vol. 64.P. 235 - 242.

3. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники Т2. -М.: Советское радио, 1975. 390 с

4. Седов С.С., Цибулькин Н.А., Щербакова Т.Ф. Плотности распределения вероятностей амплитуды вектора ЭДС сердца и их применение при диагностике поздних потенциалов желудочков сердца. Биомедицинская радиоэлектроника. 1998. №4. С. 34-39.