

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Реджепов В.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Перцев Д.Ю. – доцент, к.т.н.

Изменчивость частоты сердечных сокращений (ЧСС) может быть оценена множеством методов, простейшими из которых являются методы оценки во временной области. В этих методах в расчет берутся либо значения ЧСС, вычисленные в каждый момент времени, либо интервалы между последовательными комплексами. В непрерывной записи ЭКГ детектируется каждый QRS-комплекс и вычисляется так называемый нормальный к нормальному интервал (NN), т.е. интервал между смежными комплексами QRS, являющимися результатом деполяризации клеток синусового узла, либо определяется мгновенная ЧСС. Простейшие переменные, которые могут быть вычислены: средний NN-интервал, средняя ЧСС, разница между самым длинным и самым коротким NN-интервалом, отличие между дневной и ночной ЧСС и т.д. Могут исследоваться также вариации мгновенной ЧСС, связанные с дыханием, ортостатическим (tilt) тестом, маневром Вальсальвы, инфузией фенилэфрина. Изменения могут быть описаны при анализе величины ЧСС или длины сердечного цикла (RR).

На основе серии мгновенных ЧСС или интервалов NN, записанных в течение длительного промежутка времени, обычно за 24 часа, могут быть вычислены более сложные показатели – статистические временные показатели. Их можно разделить на две группы: полученные при обработке прямых измерений мгновенной ЧСС или NN-интервалов и вычисленные на основе разницы между NN-интервалами. Эти показатели могут вычисляться за все время наблюдения или за какие-то определенные промежутки в течение периода записи, что позволяет сравнивать вариабельность сердечного ритма (BCP) в различные моменты жизнедеятельности (например, сон, отдых и т.д.). Наиболее удобная для вычисления переменная – стандартное отклонение NN-интервалов (SDNN), равное квадратному корню из разброса NN. Поскольку величина под корнем математически эквивалентна общей мощности в спектральном анализе, SDNN отражает все циклические компоненты, ответственные за вариабельность в течение периода записи. Во многих исследованиях SDNN вычисляется за весь 24-часовой период и таким образом включает в себя и кратковременные высокочастотные изменения, и компоненты очень низкой частоты, имевшие место в течение 24-часового периода. Когда период записи сокращается, SDNN оценивает все более короткие сердечные циклы. Необходимо отметить, что при прочих равных условиях общая величина вариабельности возрастает при увеличении длины исследуемой записи [1]. Для произвольно снятой ЭКГ SDNN не лучший статистический количественный показатель ввиду его зависимости от длины периода записи.

На практике некорректно сравнивать данные показатели, вычисленные на записях различной длительности. Продолжительность записей, на которых предполагается вычислять SDNN, должна быть стандартизована. Подходящими являются 5-минутная и 24-часовая длительность. Обычно используемые статистические показатели включают также SDANN – стандартное отклонение средних NN, вычисленных за короткие промежутки времени (обычно 5-ти минутные), которое позволяет оценить изменения ЧСС циклически с периодом более 5 минут и SDNN index – среднюю 5-минутных стандартных отклонений NN-интервалов, вычисленных за 24 часа, отражающий вариабельность с циклическостью менее 5 минут. Наиболее часто используемые показатели, определяемые из межинтервальных различий, включают RMSSD – квадратный корень средних квадратов разницы между смежными NN-интервалами, NN50 – количество случаев, в которых разница между длительностью последовательных NN, превышает 50 мс, pNN50 – пропорция интервалов между смежными NN, превосходящих 50 мс, к общему количеству NN-интервалов в записи. Все эти показатели отражают быстрые высокочастотные колебания в структуре BCP и высоко коррелируют (см. рисунок 1). Измерения получены по 857 номинальным 24-часовым холтеровским записям перед выпиской у больных, перенесших острый инфаркт миокарда. Значения NN50 были нормализованы с учетом длины записи (данные St. George's Post-infarction Research Survey Programme).

Последовательность NN-интервалов также может быть преобразована в геометрическую структуру, такую как распределение плотности длительности NN-интервалов, распределение плотности разницы между смежными NN-интервалами, Лоренцовское распределение и т. д. Далее вариабельность оценивается на основе геометрических и/или графических свойств модели. При работе с геометрическими методами используются три основных подхода: основные измерения геометрической модели (например, ширина гистограммы распределения на определенном уровне) конвертируются в измерение BCP; определенным математическим образом (аппроксимация гистограммы распределения треугольником или дифференциальной гистограммы экспоненциальной кривой) интерполируется геометрическая модель и далее анализируются коэффициенты, описывающие эту математическую форму; геометрическая форма классифицируется, различается несколько категорий образцов геометрической формы, представляющих различные классы BCP (эллиптическая, линейная, треугольная форма кривой Лоренца). Большинство геометрических

методов требуют, чтобы последовательность NN-интервалов была измерена, либо конвертирована в дискретную шкалу, что обычно выполняется не вполне строго, но позволяет получать сглаженные гистограммы.

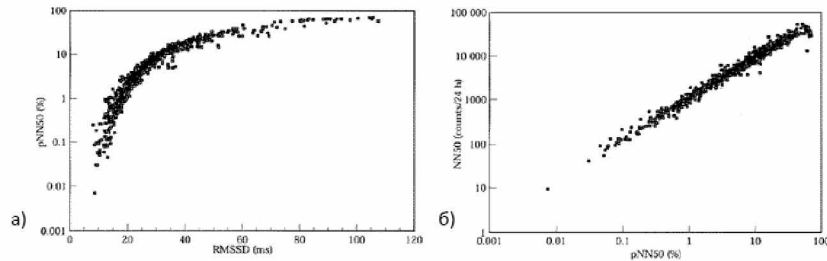


Рисунок 1 - Соотношения между измерениями: а – соотношения между RMSSD и pNN50; б – соотношения между pNN50 и NN50

Наиболее часто используемая частота дискретизации – 8 мс (точнее, 1/128 секунды), что соответствует возможностям серийно выпускаемого оборудования. Триангулярный индекс – это интеграл плотности распределения (общее количество NN-интервалов), отнесенный к максимуму плотности распределения. При использовании дискретной шкалы NN-интервалов его значение может зависеть от частоты дискретизации. Таким образом, если используется дискретная аппроксимация измерений с частотой, отличной от наиболее часто встречающейся 128 Гц, то необходимо указывать применявшуюся частоту измерений. Треугольная интерполяция гистограммы NN-интервалов (TINN) – это ширина основания распределения, измеренная как основание треугольника, полученного при аппроксимации распределения NN-интервалов методом наименьших квадратов. Для проведения геометрических измерений по гистограмме NN-интервалов вначале конструируется плотность распределения выборки D , т.е. соответствие между каждым значением длины NN-интервала в выборке и количеством интервалов, имеющих эту длину. Затем определяется длина X наиболее часто встречающихся NN-интервалов, при этом $Y=D(X)$ – максимум плотности распределения выборки. Триангулярный индекс ВСП представляет собой значение, полученное делением интеграла под кривой D на Y . При использовании дискретной шкалы по горизонтальной оси это значение равно общему числу NN-интервалов, деленному на величину Y . Для вычисления значения TINN на оси времени задаются точки N и M , после чего конструируется мультилинейная функция q , такая, что $q(t)=0$ для $t<N$ и $t>M$ (см. рисунок 2). Оба эти измерения выражают общую вариабельность сердечного ритма, измеренную за 24 часа, и более зависимы от низкочастотных, нежели от высокочастотных составляющих [2]. Другие геометрические методы находятся еще в состоянии исследования и объяснения [3, 4].

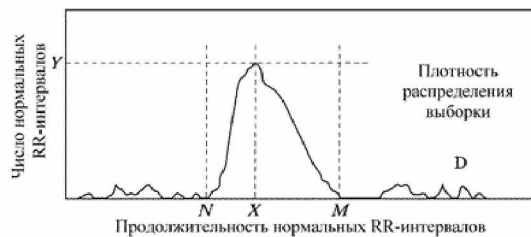


Рисунок 2 – Вычисление триангулярного индекса ВСП

Главное преимущество геометрических методов заключается в их относительной нечувствительности к аналитическому качеству серии RR-интервалов [3]. Самым большим недостатком является необходимость приемлемого количества NN-интервалов для построения геометрической модели. На практике для уверенности в корректности применения геометрических методов нужно использовать записи не короче 20 минут (но предпочтительнее 24 часа). Современные геометрические методы не подходят для оценки быстрых изменений вариабельности.

Поскольку многие из величин, получаемых при анализе ВСП во временной области, тесно коррелируют с другими, к использованию рекомендуются следующие 4 показателя: SDNN, триангулярный индекс ВСП, SDANN, RMSSD.

Список использованных источников:

1. Saul JP, Albrecht P, Berger RD, Cohen RJ. Analysis of long term heart rate variability: methods, 1/f scaling and implications. Computers in Cardiology 1987. IEEE Computer Society press, Washington 1988: 419-22
2. Malik M, Farrell T, Cripps T, Camm AJ. Heart rate variability in relation to prognosis after myocardial infarction: selection of optimal processing techniques. Eur Heart J 1989; 10:1060-74.
3. Malik M, Xia R, Odemuyiya O et al. Influence of the recognition artefact in the automatic analysis of long-term electrocardiograms on time-domain measurement of heart rate variability. Med Biol Eng Comput 1993; 31: 539-44.
4. Bjokander I, Held C, Forslund L et al. Heart rate variability in patients with stable angina pectoris. Eur Heart J 1992; 13 (AbstrSuppl): 379.