ОБРАЗНЫЙ АНАЛИЗ РИТМА ЭКГ

Т. А. Ракчеева

Институт проблем передачи информации РАН, Москва

Журнал "Медицинская техника" N 2, 1995 C.9-16

Автоматическая диагностика нарушений ритма сердечной деятельности является традиционной задачей медицинской кибернетики. К настоящему времени в этой области накоплен значительный опыт, который свидетельствует, в частности, о несостоятельности на сегодняшний день попыток полной автоматизации диагностики ритма сердца. Решение задачи базируется в основном на врачебном опыте, с одной стороны, и на статистической обработке ­с другой. Однако, как известно, врачебный опыт далек от необходимой формализации, точнее, формализации поддается некоторая часть устойчивых знаний, разделяемых большинством специалистов, в то время как другая часть врачебного опыта носит нечеткий и субъективный характер, который часто неотделим от самого специалиста. Статистический же подход носит слишком абстрактный характер, мало учитывая специфику задачи. Поэтому большинство существующих автоматизированных систем или не обладает достаточной степенью убедительности, или является малоэффективными, охватывая лишь небольшой круг патологий.

В своей профессиональной деятельности специалист всегда опережает возможности автоматической системы, поэтому целесообразным представляется создание полуавтоматических систем, предполагающих участие специалиста в принятии решения. Основу автоматической обработки должны составлять знания, поддающиеся общепринятой формализации, а образующуюся при этом ограниченность круга диагностируемых патологий можно компенсировать некоторым образным представлением обрабатываемых данных, облегчающим уточнение диагноза специалисту, взаимодействующему с ЭВМ в интерактивном режиме. Такая тенденция наблюдается в разных областях научной деятельности [1, 2, 4, 6].

Образное представление ритмической структуры ЭКГ является особенно актуальным из-за большого объема обрабатываемой информации, который трудно полностью охватить. В связи с этим давно делаются попытки подобного представления. Примером такого подхода могут служить широко известные ритмограммы: интервалограммы, скаттерграммы, спектрограммы и др., однако они не учитывают ритма предсердий и носят скорее статистический характер, что затрудняет их детальную интерпретацию (3, 5].

В данной работе предложен ряд способов образного анализа ритма ЭКГ. Основным элементом любого анализа ритмической структуры ЭКГ является сопоставление между собой различных импульсов, циклов, фрагментов. Желание использовать графические возможности компьютера для более эффективного осуществления подобных операций легло в основу предлагаемого ниже комплекса моделей образного анализа ритма сердца, называемых в данной работе также ритмограммами. Данный подход ориентирован на выявление периодических свойств ЭКГ и характера взаимодействия импульсов Р и R. Предложенные методы реализованы в виде программной системы для ЭВМ IBM РС, с помощью которой получен приведенный в работе иллюстративный материал. Входной информацией системы может служить как сама исходная электрокардиограмма, так и различные ее характеристики, главным образом моменты регистрации импульсов и временные соотношения, связывающие эти импульсы.

При рассмотрении предлагаемых ритмограмм удобно иметь в виду наряду с реальной и некоторую условную ЭКГ, содержащую только информацию о ритмической структуре ЭКГ, изображение которой представимо в виде временной оси с отмеченными на ней моментами появления импульсов Р и R (на экране дисплея для этого может быть использована цветовая или иная символика). Приведенные рисунки сделаны с экрана цветного дисплея, в связи с чем утраченная цветовая информация частично восполнена обозначениями разных символов.

Один из возможных способов пространственного представления ЭКГ с целью анализа ритма состоит в том, чтобы "свернуть" ее в кольцо некоторого диаметра или во избежание потери информации в плоскую спираль с небольшим шагом по радиусу. Такое представление может быть использовано как для условной, так и для реальной ЭКГ. Если при этом выбрать начальный радиус обращения спирали достаточно большим, а шаг достаточно малым, то приращением длины витка можно пренебречь, считая все витки спирали одинаковой длины. В таком случае ритмически правильная ЭКГ будет представлена спиралью с расположением одноименных зубцов по своим радиусам, в то время как патологическая ЭКГ будет иметь позиции зубцов, распределенные по длине спирали с той или иной регулярностью уже второго по отношению к циклам ЭКГ уровня (рис. 1).

На рис. 1, а приведена ритмограмма ЭКГ, нормальный ритм которой время от времени нарушается; экстрасистолия, определяющая характер этих нарушений, проявляется на такой ритмограмме в форме, легко интерпретируемой специалистом. Жирной линией на спирали выделены интервалы Р - R; лучами отмечены диапазоны разброса параметров ЭКГ, не выводящие ее за пределы нормы. В верхней части экрана для этой и других ритмограмм изображается в уменьшенном масштабе движущаяся исходная ЭКГ (в данном случае модельная, генерируемая имитатором ритмических патологий).

Спиральная ритмограмма является управляемой. Меняя по желанию оператора радиус спирали, можно настраивать ритмограмму на определенный цикл данной ЭКГ. Такая настройка предназначена для определения периода основного ритма с возможной переориентацией на любой из двух - предсердный или желудочковый - ритмов с целью получения более наглядного представления. На рис. 1, б, в представлены примеры спиральной ритмограммы с настройкой на разные значения цикловой периодики ЭКГ. Из-за неправильного выбора параметра настройки, ориентированного на первый цикл, ритмограмма, приведенная на рис. 1, б, никакой закономерности не выявляет. Правильная же настройка ритмограммы для той же ЭКГ выявляет характер ее ритмической структуры, состоящий в данном случае в наложении двух нарушений: тахикардии и наличии выскальзывающих импульсов (см. рис. 1, в).

Подчеркнем еще раз, что спиральная ритмограмма может работать не только с условной, но и с реальной ЭКГ. При этом значения потенциала ЭКГ квантуются и изображаются различными цветами или различными градациями яркости при использовании черно-белого дисплея. В этом случае не требуется решение сложной задачи идентификации зубцов.

Таким образом, спиральная ритмограмма нацелена на отделение диагностически неинформативной естественной цикличности, выявляя характер отклонения от нее. Вместе с тем сами эти отклонения могут формировать периодичность более высоких уровней, связанных с повторяемостью групп циклов полностью или по отдельным характеристикам. В этом случае спиральную ритмограмму можно настроить на такую группу циклов, осуществляя тем самым поиск макропериода ЭКГ (сходство ритмических рисунков больших фрагментов ЭКГ), значение которого само по себе является одним из основных диагностических параметров.

Следующая ритмограмма (веерная, рис. 2), также основанная на круговой развертке, специально ориентирована на решение такой задачи. Параллельно с прослеживанием временной последовательности отсчетов ЭКГ эта ритмограмма вычерчивает веерообразно петли (лепестки), исходящие из некоторого центра и возвращающиеся в этот центр. Величина лепестка соответствует текущему межпредсердному интервалу Р - Р. Импульсы желудочков, расположенные между двумя импульсами предсердий, порождают свои петли Р - R внутри петли Р ­Р. Количество петель Р - Р, разворачивающихся веером на угловом интервале (0,2), определяется параметром внутренней макропериодики ЭКГ.

Все циклы идеально нормальной ЭКГ в веерной ритмограмме повторяют друг друга и для всех циклов ритмограмма проходит по траектории первого цикла, поэтому параметр периодики в данном случае может быть любым, достаточно единичного. В случае патологической ЭКГ, соответствующей, например, регулярной экстрасистологии, где в каждом третьем цикле появляется дополнительный импульс R, ритмограмма состоит из трех лепестков (К = 3), два из которых относятся к нормальным циклам, а третий - к патологическому, содержащему лишнюю петлю Р - R.

Управление веерной ритмограммой состоит в манипулировании параметром периодики К, что означает перестройку ее на разное число лепестков развертки. В качестве примера можно привести ЭКГ с нарушениями в виде неполной атриовентрикулярной блокады, состоящей в том, что периодически в течение нескольких циклов интервал Р - R увеличивается, пока не исчезнет совсем. В данном случае этот макропериод состоит из пяти циклов, поэтому настройка на любую периодику, не кратную пяти, дает смещение траектории от оборота к обороту (см. рис. 2, а) и лишь при правильной настройке после одного оборота развертки лепестков на плоскости траектория стабилизируется (см. рис. 2, б).

Устроенная описанным способом веерная ритмограмма информационно эквивалентна такой интервалограмме, где изобразительными элементами, характеризующими отдельные циклы, являются отрезки, равные по величине соответствующим интервалам Р - Р и Р - R. Однако непосредственно такое представление было бы недостаточно наглядным, так как необходимость изобразить на одном отрезке интервала Р - Р еще в общем случае несколько интервалов Р - R приводило бы к слиянию этих отметок при наложении циклов друг на друга.

Периодическая структура ЭКГ может быть сложной, вследствие чего для ее исследования может потребоваться многоуровневый иерархический анализ, в котором определение макропериода происходит на верхнем уровне. Такую схему реализует описываемая ниже матричная ритмограмма (рис. 3).

Эта ритмограмма в отличие от других построена на интегральных характеристиках цикла. Каждый цикл анализируется по ряду произвольно задаваемых признаков и классифицируется по двум (возможно, и больше) градациям: "норма" или "не норма". Образное представление ЭКГ в данном случае состоит в том, что каждому циклу соответствует некоторый фрагмент плоскости (например, квадрат), позволяющий выстраивать их в виде прямоугольной матрицы, содержащей строки и столбцы. На экране цветного дисплея нормальный цикл ЭКГ изображается на ритмограмме квадратом одного цвета, а патологический - квадратом другого цвета.

В общем случае ЭКГ будет представлена на экране прямоугольной мозаикой, составленной из разноцветных квадратов, причем структура расположения квадратов одного цвета получится регулярной или хаотичной, как, например, на рис. 3, а. Меняя модуль, можно преобразовать матрицу таким образом, чтобы квадраты одного цвета выстроились в некую регулярную структуру, выявляя ее периодику.

На этой стадии иерархического анализа ничего большего об анализируемой ЭКГ сказать нельзя. На следующем уровне матричной ритмограммы каждый квадрат, соответствующий одному циклу, в свою очередь содержит аналогичное отображение состояний ряда признаков данного цикла. В результате перехода на второй уровень матричная мозаика оказывается составленной из тех же квадратов, но имеющих собственную структуру из цветных фрагментов. Это позволяет, во-первых, настраивать всю матрицу по любому из фрагментов второго уровня и, во-вторых, рассматривать более подробно изменение значений параметров от цикла к циклу уже не для всей ЭКГ, а только для группы циклов, выделенной на предыдущем этапе. На рис. 3, б представлена матричная ритмограмма второго уровня для той же ЭКГ, что и на рис. 3, и, откуда видно, что интервал Р - Р сохраняет свою стабильность, а интервал Р - R в четырех циклах нормальный, а в пятом цикле - увеличенный, что характерно, например, для выскальзывающего импульса.

Дальнейшее уточнение диагноза может использовать другие, более тонкие параметры, например форму импульсов, что потребует перехода на еще более высокий уровень.

Последние две ритмограммы в отличие от предыдущих ориентированы в первую очередь на выявление характера взаимодействия двух источников импульсов: предсердного и желудочкового. Они являются динамическими в том смысле, что представляют собой траекторию движения на плоскости некоторой точки, параметры которой определяются ритмической структурой ЭКГ. В отличие от самой ЭКГ, которая также представляет собой некоторую траекторию, протяженную во времени, эта траектория, подобно вектор-кардиограмме, свернута на плоскости, занимая на ней ограниченную область. Такая свертка, так же как и в случае спиральной и веерной ритмограмм, является результатом своего рода наложения цикла на цикл для более удобного сопоставления их между собой.

Ритмограмма, названная линейной (рис. 4), представляет собой кусочно-линейную траекторию точки, каждый линейный участок этой траектории соответствует последовательности временных отсчетов ЭКГ между соседними импульсами, причем по одной из осей (х) откладывается время, отсчитываемое от последнего импульса Р, а по другой оси (y) - время от последнего импульса R. Для случая идеальной ЭКГ линейная динамическая ритмограмма представляет собой непрерывное движение по одной и той же замкнутой кусочно-линейной траектории, состоящей из четырех фаз (см. рис. 4, а). Вертикальные и горизонтальные скачки траектории отражают появление на ЭКГ зубцов Р (вертикальные) и R (горизонтальные), а наклонные участки соответствуют отсчетам ЭКГ в интервалах Р - R и R - Р.

Постоянства временных интервалов Р - Р, Р - R и R - R и их равенства недостаточно для нормальности ЭКГ, нужно еще, чтобы значения интервалов лежали в заданных пределах. На ритмограмме угловые точки такой ЭКГ должны располагаться в отмеченных на рисунке областях, соответствующих нормальным значениям интервалов. Примером нарушений количественного характера может служить брадикардия, ритмическая структура ЭКГ которой не отличается качественно от нормальной, но связана с увеличением интервалов Р ­-Р и R - R за счет увеличения интервалов R - Р. На ритмограмме при этом наблюдается, как и в норме, кусочно-линейная самопересекающаяся петля той же формы, но с увеличением отдельных размеров.

Если количественные изменения интервалов ЭКГ приводят лишь к диспропорции ритмограммы, то изменения характера взаимодействия источников приводят к качественным изменениям формы траектории. Примером может служить один из случаев неполной (3 : 1) атриовентрикулярной блокады. На ритмограмме (см. рис. 4, б) указанный случай блокады выражается в виде цикла, состоящего из вертикально расположенной пилообразной линии с тремя горизонтальными скачками, соответствующими трем импульсам Р, и одного вертикального скачка, соответствующего импульсу R.

Расположение угловых точек траектории свидетельствует о нормальности интервалов Р - Р и значительном отклонении от нормы интервалов R - R. Обратная картина с горизонтально расположенной пилообразной линией наблюдается при экстрасистолии. При этом горизонтальные скачки по величине соответствуют нормальным интервалам Р - Р, а вертикальные - укороченным интервалам R - R, что характерно для рассматриваемой патологии.

Гармоническая ритмограмма (рис. 5), как и линейная, ориентирована в первую очередь на выявление характера

взаимодействия двух источников. Траектория ритмограммы задается системой периодических функций с параметрами, определяемыми ритмической структурой ЭКГ.

Для идеальной ЭКГ, где наблюдается взаимно однозначное соответствие зубцов Р и R с равными по всей ЭКГ интервалами, траектория ритмограммы каждого цикла представляет собой эллипс (см. рис. 5, а), отношение полуосей которого задается интервалом Р - R. Количественные отклонения от нормы сохраняют форму эллипса, изменяя соотношение полуосей. К примеру, в случае тахикардии он будет уже. Качественные нарушения ритмической структуры ЭКГ приведут к разрушению стандартной формы траектории.

Ряд патологий имеет в гармонической ритмограмме хорошо интерпретируемый вид. Примером может служить изображенная на рис. 5, б ритмограмма для ЭКГ, использованной выше для иллюстрации линейной ритмограммы. Так как в этом случае одному интервалу R - R соответствуют три интервала Р - Р, то каждый период обращения траектории получается трехфазным.

Особенностью двух последних ритмограмм является то, что для наиболее эффективного их использования необходимо наблюдать динамику прослеживания синхронно со снятием ЭКГ.

Реализованные на ЭВМ программы являются скорее научной разработкой, нежели прикладной системой, пригодной для немедленного использования в медицинской практике. Дальнейшее развитие предлагаемого подхода представляется целесообразным, поскольку прикладной комплекс ритмограммы обещает оказаться полезным при решении ряда задач медицинской диагностики.

Одной из таких задач является задача мониторинга.

Использование, например, двух последних ритмограмм позволяет значительно облегчить наблюдение за ритмом сердечной деятельности. Изображая ритмическую структуру ЭКГ на экране в виде замкнутой траектории простого для нормальной ЭКГ вида, ритмограмма позволяет заменить длительное прослеживание с непрерывным оцениванием временных соотношений на слежение за сохранением стабильности формы траектории. Следует отметить, что по этой же причине использование предложенных ритмограмм для целей скрининга предъявляет минимальные требования к медицинской квалификации оператора, так как обнаружение отклонений от нормы не требует специальных знаний по электрокардиографии. Другой задачей, решаемой с помощью разработанного комплекса, является определение различных периодик в структуре ЭКГ как в целом, так и по отдельным признакам, имеющим важное диагностическое значение. Наконец, комплекс ритмограмм может помочь провести подробный анализ ритмической структуры ЭКГ, используя как отдельные универсальные ритмограммы, так и сочетание разных ритмограмм.

Существенное преимущество предлагаемого подхода по сравнению с автоматическим состоит в том, что автоматические системы основаны, как правило, на пороговых критериях и как бы тщательно ни были выбраны пороги, нельзя гарантировать разумную оценку пограничных ситуаций, что является причиной определенного недоверия к ним. Например, в некоторых ситуациях специалист может пренебречь случайным выбросом, превосходящим порог, в то время как автоматическая система квалифицировала бы его как признак патологии. Предлагаемая система, преобразования в которой происходят в основном без потери информации, позволяет специалисту в процессе анализа самому правильно расставить акценты. Предлагаемый подход не отвергает иные средства диагностики, разработанные к настоящему моменту в медицинской кибернетике. Он представляет собой еще один инструмент, который, аппелируя к образно-интуитивному мышлению специалиста, может быть использован параллельно с другими.

Применение описанного в статье метода предполагает предварительную идентификацию зубцов ЭКГ. Для этого может быть использована любая из существующих разработок. Вместе с тем следует отметить, что ряд возможностей описываемой системы может быть использован для анализа ЭКГ и без выделения зубцов.

Приведенные в работе примеры не исчерпывают всех патологий, выявляемых с помощью описанных ритмограмм. Расширение области применения изложенных методов требует их развития с целью увеличения круга сложных патологий, выявляемых ритмограммами. Дальнейшие исследования должны быть нацелены на обеспечение специалиста более широким спектром средств наглядного представления ритмической информации, что позволит выявлять более тонкие нарушения ритма сердечной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин В. Г. Образный анализ экспериментальных данных. - М., 1982.

. Зенкин А. А. // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. - 1987. - N 5. - С.29-36.

3. Янушкявичус 3., Жемайтите Д. // Статистические проблемы управления. - Вильнюс, 1977. - Вып. 22. - С.9-22.

4. Chernoff Н. // J. Amer. Statist. Ass. - 1973. - Vol. 68, N 342. - Р. 361-368.

 5. Schwela Н., Reinhardt Н., Franke Th., Knorre М. // Ber.

Ges. inn. Med. - 1982. - Bd 13. - S. 127 - 129.

 6. Schultz В. //Comput. Pictures. - 1988. - N 1. - Р. 11-16.