

Т. Г. МАЩЕНКО, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
О. С. СОМХИЕВА, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;
А. Ю. ЖЕЛЕЗНЯКОВА, магистр НТУ «ХПИ»;

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИСПЕРСИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЦА.

В статье рассмотрены вопросы использования метода дисперсионного картирования для оценки состояния сердечно-сосудистой системы человека. Многие заболевания в данной области на начальных этапах протекают практически бессимптомно, однако метод дисперсионного картирования позволяет диагностировать различные заболевания сердца на ранних стадиях их возникновения при догоспитальном контроле, а так же проводить своевременное лечение этих заболеваний, особенно ишемической болезни сердца.

Ключевые слова: электрокардиограмма, ЭКГ - сигнал, дисперсионное картирование, низкоамплитудные колебания.

Постановка проблемы. В последние годы в нашей стране и других странах наблюдается рост сердечно-сосудистых заболеваний, что обусловлено стрессами, значительной нагрузкой, постоянно меняющимися и не в лучшую сторону условиями окружающей среды, а также не малую роль играет и внутреннее психоэмоциональное состояние, гормональный фон, наличие хронических заболеваний и рядом других факторов. Как известно, для диагностики заболеваний сердца применяются электрографические методы исследования. Эти методы являются первыми и обязательными в начале пути обследования пациента при подозрении на заболевание сердечно-сосудистой системы. Несмотря на доступность и разнообразие методик классической электрокардиографии, она обладает рядом недостатков: низкой чувствительностью и специфичностью к некоторым патологическим процессам в миокарде, особенно к ишемическим изменениям в нем, недостаточной чувствительностью для индивидуальных оценок прогноза риска патологии сердца, ведь многие сердечно-сосудистые заболевания на начальных этапах протекают практически бессимптомно. Кроме этого, использование нагрузочных тестов и суточного мониторинга электрокардиограммы (ЭКГ) требует достаточно много времени и финансовых затрат, что, несомненно, ограничивает их широкое применение в условиях амбулаторного обследования больных. Учитывая это, внедрение в практическую кардиологию новых точных электрокардиографических технологий, несомненно, является шагом вперед в идентификации лиц, имеющих различные варианты ишемических и не ишемических изменений в миокарде.

Анализ литературы: В работах [1,2] рассмотрена суть электрокардиографического метода исследования работы сердца, в [3,4] приведены основы

метода дисперсионного картирования, [6] содержит описание новых методов электрокардиографической диагностики, которые уже нашли свое применение в повседневной клинической практике, а также перспективные новые направления анализа ЭКГ-сигнала.

Цель статьи заключается в оценке информативных параметров низкоамплитудных колебаний электрокардиограммы, полученных на основе метода дисперсионного картирования.

Метод дисперсионного картирования ЭКГ - это новая и перспективная технология в современной кардиологии, основанная на контроле низкоамплитудных колебаний ЭКГ - сигнала. Разработка этой технологии связана с ревизией некоторых аспектов биофизических моделей электрического генератора сердца. Следует отметить, что ЭКГ – сигнал содержит достаточно информативные компоненты, на которые ранее почти не обращали внимание, но аналоги которых детально изучались физиками в области так называемой хаотической динамики.

Речь идет о небольших низкоамплитудных изменениях ЭКГ-сигнала в последовательных сердечных сокращениях, проявляющихся в незаметных случайных колебаниях на однотипных участках записи ЭКГ. При различных патологиях сердечно-сосудистой системы амплитуда таких микроальтернаций меняется, что свидетельствует об отклонении от нормы разных электрофизиологических характеристик. Эти незначительные сигналы являются своеобразными микроскопическими «предвестниками» возможных нарушений в работе сердечной мышцы, поскольку предшествуют во времени изменениям непосредственно ЭКГ. Соответственно характеристики низкоамплитудных микроколебаний возможно применять в роли эффективных диагностических маркеров надвигающейся функциональной перестройки миокарда. Для выявления таких случайных колебаний необходимо синхронизировать несколько последовательных циклов (рис. 1).

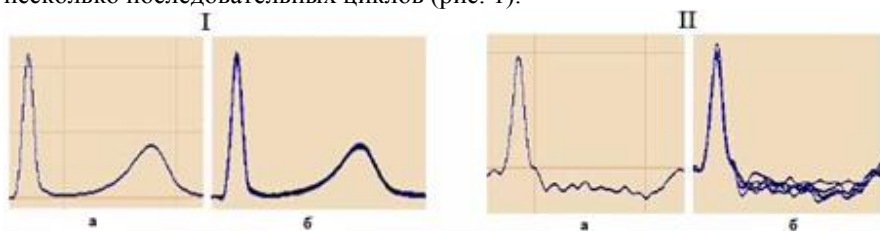


Рис. 1 – Низкоамплитудные колебания ЭКГ в последовательных QRST - комплексах здорового сердца (I) и больного при ИБС (II): а – отдельный комплекс; б – 7 синхронизированных комплексов

Средняя амплитуда этих колебаний столь незначительна, что они традиционно интерпретируются как малозначимые шумовые помехи. Именно малые флуктуации часто несут важную диагностическую информацию, пред-

шествующую развитию патологии и не проявляющуюся в традиционных отклонениях ЭКГ-сигнала. Идея извлечения этой важной “ранней” информации была весьма заманчива, так как она открывала путь не только к более чувствительным диагностическим приборам, но и к устройствам, обеспечивающим достаточно надежный оперативный прогноз состояния сердца. Эта идея стала особенно привлекательной, когда исследования хаотических колебаний в области нелинейной динамики, более известные в современной физике как исследования по проблеме “детерминированного хаоса”, показали, что за внешней случайностью часто скрывается детерминированная закономерность. Некоторые результаты этих исследований послужили отправной точкой при анализе флуктуаций ЭКГ-сигнала.

Анализ случайных малых колебаний ЭКГ невозможен без точной модели биогенератора сердца (БГС). Вследствие этого работа по созданию алгоритмов анализа низкоамплитудных флуктуаций ЭКГ началась с формирования традиционной компьютерной модели БГС, которая была основана на расчете электрического поля двойного заряженного слоя кардиомиоцитов. Модель биогенератора в данной технологии имеет очень большое значение, т.к. 60% используемых диагностических признаков извлекается при анализе низкоамплитудных флуктуаций, так называемых косвенных параметров, рассчитываемых на основе модели электрических процессов в миокарде.

Электродинамическая модель сердца дает точное расчетное предсказание факта уменьшения длительности потенциала действия эпикардиальных клеток миокарда желудочков на 30-40 мс в сравнении с эндокардиальными клетками, хотя генез этого уменьшения до настоящего времени оставался неясным. Таким образом, анализ электродинамической модели позволил сделать следующий вывод: новая модель индуцирования поверхностных потенциалов хорошо согласуется с данными, наблюдаемыми в электрофизиологических экспериментах и в клинической практике, а так же дает объяснение многим проблемным фактам. Эта модель не требует какой-либо дополнительной феноменологии при интерпретации ЭКГ-сигналов. Все ее предсказания основаны лишь на точном учете электродинамических эффектов, возникающих на мембранах огромного числа сократительных кардиомиоцитов. И, что наиболее важно, эта модель предоставляет новые формулы для расчета поверхностных потенциалов, необходимые для определения косвенных, т.е. непосредственно не измеряемых параметров с необходимой точностью.

Экспериментальные данные современной молекулярной биологии и электрофизиологии [3] позволяют с высокой точностью рассчитать объемную плотность энергии и плотность потока энергии отдельного миоцита в фазе ноль потенциала действия. Эти расчеты относительно миоцитов с быстрым электрическим ответом, что составляет основу сократительного миокарда, приводят к следующим оценкам: 57% электростатической энергии мембраны, рассеивается омическими токами, протекающими через среду, слабо

проводит в области входных и выходных ворот ионных каналов вдоль поверхности мембраны.

Электродинамическая модель прежде всего устранила расчетную неустойчивость алгоритмов анализа малых флуктуаций ЭКГ - сигнала, что позволило эффективно использовать ее в качестве модели БГС.

Технологически регистрация и обработка электрокардиографического сигнала осуществляется следующим образом. Входные сигналы ЭКГ покоя длительностью 30 с оцифровываются и выделяют примерно 15 последовательных комплексов QRST. Допустимое число рассматриваемых комплексов QRST в этой технологии составляет 10 ... 20. Далее выделенные комплексы в каждом из рассматриваемых 6 отведений от конечностей (I, II, III, aVR, aVL, aVF) синхронизируют на момент начала и получают сигналы низкоамплитудных колебаний QRST-комплексов в каждый момент времени регистрации (рис. 2).

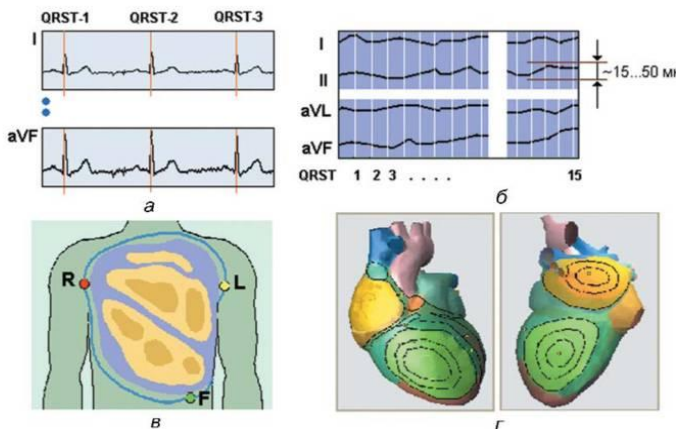


Рис. 2. - Схема формирования информационной топологической модели низкоамплитудных колебаний ЭКГ

а - исходные ЭКГ-сигналы с метками синхронизации; б - массив низкоамплитудных колебаний ЭКГ для одного момента времени; в - поверхностная карта дисперсионных характеристик; г - информационная топологическая модель дисперсионных характеристик - "портрет сердца"

На рис. 2,а для примера представлено выделение одного момента регистрации в различных комплексах QRST, отстает на 11 мс от начала комплекса QRS. На рис. 2,б показаны 4 из 6 кривых низкоамплитудных колебаний для этого момента времени, соответствующие шести отведениям I ... aVF от конечностей. Величины сигналов в отведениях от конечностей I ... aVF рассчитывают стандартным образом по сигналам двух зарегистрированных отводов I, III (электроды L-R, L-F). Полный цифровой массив флуктуаций

включает аналогичные данные по 250 ... 300 моментам времени, которые полностью охватывают весь комплекс QRST.

Этот массив напоминает цифровые данные, рассматриваемые в ЭКГ – методе высокого разрешения при усреднении по времени. Принципиальной особенностью полученного массива низкоамплитудной колебаний является малый объем выборки в каждый момент времени, что составляет примерно 10 ... 20 точек. Эта особенность требует специальных методов анализа, так как традиционные статистические оценки на таких коротких выборках мало-достоверны или невозможны.

Вследствие этого, цифровой массив низкоамплитудной колебаний пропускают через специальный модуль когерентного усиления слабых сигналов - информационный усилитель. Этот модуль усиливает малые отклонения, которые повторяются во всех анализируемых комплексах QRST (т.е. малые отклонения, которые сильно коррелируют), но ослабляет отклонения, слабо коррелируют в анализируемых комплексах. Дополнительно на вход информационного усилителя подаются вторичные характеристики, рассчитанные по выходным (первичным) низкоамплитудными колебаниям на основе электродинамической модели электрического БГС. Основным объектом анализа в информационном усилителе являются дисперсионные характеристики низкоамплитудной колебаний. Термин "дисперсия" соответствует общепринятому в кардиологии определению разницы между наибольшим и наименьшим значениями величины, которая варьирует.

Дисперсионные характеристики дают интегральную оценку изменений большого количества структурных характеристик миокарда, которые зависят от параметров крови, электролитного баланса, артериального давления и других факторов. Финальная процедура расчета дисперсионных характеристик состоит в определении возможной локализации отделов миокарда с изменениями, стали источником дисперсионных изменений, а также в определении интегрального показателя отклонений дисперсионных характеристик от нормы в локализованных отделах. Точность вероятной локализации дисперсионных изменений определяется числом анализируемых отводов. В скрининг-анализаторе обеспечивается выделение только следующих укрупненных видов локализации изменений: задняя или боковая, боковая, передняя перегородочная или боковая, передняя перегородочная или нижняя, нижняя, нижняя со сдвигом вправо.

В итоге на выходе информационного усилителя формируется поверхностная карта дисперсионных характеристик, отражает лишь значимые отклонения этих характеристик от нормы (рис. 2,в). Эта карта по определенному алгоритму проецируется на эпикардialную поверхность компьютерной трехмерной анатомической модели сердца. На экране дисплея возникает цифровая модель дисперсионных характеристик на поверхности квазиэпикарда (т.е. компьютерной модели эпикарда), что авторы технологии называли "портретом сердца" (рис. 2,г).

«Портрет сердца» - это «моментальный снимок», получаемый на экране дисплея в результате визуализации рассчитанных средних дисперсионных характеристик низкоамплитудной колебаний зарегистрированной ЭКГ. Он формируется в двух видах: вид со стороны правого предсердий и правого желудочка и вид со стороны левого предсердий и левого желудочка.

Цвета портрета изменяется как при отклонениях амплитуды дисперсионных характеристик, так и при изменении запаздывания или опережения дисперсионных характеристик во времени, что коррелирует с величинами интервалов P-Q, Q-T, QRS.

Контролируемые таким образом дисперсионные характеристики низкоамплитудной колебаний ЭКГ отражают характеристики повторяемости движения фронтов деполяризации и реполяризации в миокарде при каждом сокращении сердца, в среднем за время примерно 10 ... 20 с.

Приведенная выше последовательность необходимых операций для точного и своевременного диагностирования заболеваний сердца, получила название «метод дисперсионного картирования». Имеющийся сегодня опыт нескольких лет испытаний свидетельствуют о бесспорном факте: среди неинвазивных и доступных для широкой клинической практики метод дисперсионного картирования ЭКГ имеет лучшие показатели. Кроме того, контрольная процедура занимает до 2 минут, а сама процедура контроля не требует специальных подготовительных мероприятий и может быть выполнена без снятия одежды в положении сидя. Полученные данные способствуют осуществлению детализации диагноза и выявлению возможного заболевания до появления его симптомов.

Список литературы: 1. *Мащенко Т.Г.* «Датчики в биотехнических системах» – Х. : НТУ «ХПИ», 2003г. 2. *Суворов А.В.* Клиническая электрокардиография // Киев-1993г. 3. *Иванов Г.Г., А.С. Сула.* Дисперсионное ЭКГ-картирование: теоретические основы и клиническая практика. - М.: Техносфера, 2009. 4. *Мащенко Т.Г., Борисенко М.О.* Преимущества использования электродинамической модели миокарда при анализе низкоамплитудных флуктуаций. – Х.: Вестник НТУ «ХПИ» - 2010г. 5. *Мурашко В.В., Струтинский А.В.* Электрокардиография.-М.: Медицина.-1991г. 6. *Грачев С.В., Иванова Г.Г., Сыркина А.Л.* Новые методы электрокардиографии. – Издательство «Техносфера», Москва, 2003г.

Bibliography (transliterated): 1. *Mashhenko T.G.* «*Datchiki v biotekhnicheskikh sistemah*» – Kh. : NTU «KhPI», 2003. 2. *Suvorov A.V.* *Klinicheskaja jelektrokardiografija* // Kiev - 1993. 3. *Ivanov G.G., A.S. Sula.* *Dispersionnoe JeKG-kartirovanie: teoreticheskie osnovy i klinicheskaja praktika.* - M.: Tehnosfera, 2009. 4. *Mashhenko T.G., Borisenko M.O.* *Preimushhestva ispol'zovaniya jelektrodynamichejskoj modeli miokarda pri analize nizkoamplitudnyh fluktuacij.* – Kh.: Vestnik NTU «KhPI» - 2010. 5. *Murashko V.V., Strutynskij A.V.* *Jelektrokardiografija.*-M.: Medicina.-1991. 6. *Grachev S.V., Ivanova G.G., Syrkina A.L.* *Novye metody jelektrokardiografii.* – Izdatel'stvo «Tehnosfera», Moscow, 2003.

Поступила (received) 20.05.2015