**Реферат**

**Анализ и синтез биотехнологической системы медицинского назначения для электрокардиографических исследований**

**Введение**

анатомический физиологический электрокардиография

Электрокардиография(ЭКГ)является наиболее распространённым, простым и эффективным методом диагностики заболеваний сердца, которые согласно статистике Всемирной организации здравоохранения являются основной причиной смертности населения. При этом правильность постановки диагноза и, соответственно, назначаемого плана лечения во многом определяется качеством электрокардиографического сигнала (ЭКС), используемого в зависимости от применяемой аппаратуры, либо специалистом в виде записи на ленте, либо электронным средством анализа и принятия решений в виде соответствующего электронного сигнала.

**1. Анатомо-физиологические особенности системы БТС канала электрокардиографии**

анатомический физиологический электрокардиография

**Характеристики и параметры системы**

Электрокардиография - метод электрофизиологического исследования деятельности сердца в норме и патологии, основанный на регистрации и анализе электрической активности миокарда, распространяющейся по сердцу в течение сердечного цикла. Регистрация производится с помощью специальных приборов - электрокардиографов. Записываемая кривая электрокардиограмма (ЭКГ) - отражает динамику в течение сердечного цикла разности потенциалов в двух точках электрического поля сердца, соответствующих местамналожения на теле обследуемого двух электродов, один из которых является положительным полюсом, другой отрицательным (соединены соответственно с полюсами + и - электрокардиографа). Определенное взаимное расположение этих электродов называют электрокардиографическим отведением, а условную прямую линию между ними - осью данного отведения. На обычной ЭКГ величина электродвижущей силы (ЭДС) сердца и ее направление, меняющиеся в течение сердечного цикла, отражаются в виде динамики проекции вектора ЭДС на ось отведения, т.е. на линию, а не на плоскость, как это происходит при записи векторкардиограммы (см. Векторкардиография), отражающей пространственную динамику направления ЭДС сердца в проекции на плоскость. Поэтому ЭКГ, в противопоставление векторкардиограмме, иногда называют скалярной. Чтобы с ее помощью получить пространственное представление об изменениях электрических процессов в сердце, необходимо ЭКГ снимать при различном положении электродов, т.е. в разных отведениях, оси которых не являются параллельными.

**1.1 Теоретические основы электрокардиографии**

Строятся на законах электродинамики, приложимых к электрическим процессам, происходящим в сердце в связи с ритмичной генерацией электрического импульса водителем ритма сердца и распространением электрического возбуждения по проводящей системе сердца (Сердце) и миокарду. После генерации импульса в синусном узлевозбуждение распространяется вначале на правое, а через 0,02 с и на левое предсердие, затем после недлительной задержки в атриовентрикулярном узле переходит на перегородку и синхронно охватывает правый и левый желудочки сердца, вызывая их сокращение. Каждая возбужденная клетка становится элементарным диполем (двухполюсным генератором): сумма элементарных диполей в данный момент возбуждения составляет так называемый эквивалентный диполь. Распространение возбуждения по сердцу сопровождается возникновением в окружающем его объемном проводнике (теле) электрического поля. Изменение за сердечный цикл разности потенциалов в 2 точках этого поля воспринимается электродами электрокардиографа и регистрируется в виде зубцов ЭКГ, направленных отизоэлектрической линии вверх (положительные зубцы) или вниз (отрицательные зубцы) в зависимости от направления ЭДС между полюсами электродов. При этом амплитуда зубцов, измеряемая в милливольтах или в миллиметрах (обычно запись производится в режиме, когда стандартный калибровочный потенциал lmv отклоняет перо регистратора на 10 мм), отражает величину разности потенциалов по оси отведения ЭКГ.

Основоположник Э. голландский физиолог Эйнтховен (W. Einthoven) предложил регистрировать разность потенциалов во фронтальной плоскости тела в трех стандартных отведениях - как бы с вершин равностороннего треугольника, за которые он принял правую руку, левую руку и лонное сочленение (в практической Э. в качестве третьей вершины используется левая нога). Линии между этими вершинами, т.е. стороны треугольника, являются осями стандартных отведений.стандартное отведение соответствует расположению регистрирующих электродов на правой и левой руках, II - на правой руке и левой ноге, III - на левой руке и левой ноге. Как бы в центр треугольника Эйнтховена проецируется интегральный вектор ЭДС, представляющий собой сумму множества элементарных векторов ЭДС клеток миокарда, на данный момент возбуждения сердца. Величина интегрального вектора ЭДС сердца и направление его в пространстве зависят от массы миокарда, расположения сердца в грудной клетке и от хода возбуждения по миокарду. Проекция интегрального вектора на треугольник Эйнтховена представляет собой так называемую манифестирующую ось сердца, а ее проекция на каждую из сторон треугольника соответствует отраженной в трех стандартных отведениях скалярной величине ЭДС сердца, динамика которой на протяжении сердечного цикла и формирует ЭКГ. Величины проекции сердечного вектора на стороны треугольника Эйнтховена в каждый момент времени определяются уравнением: III = II + lIII, где II, III, lIII - алгебраическая сумма амплитуд сигналов, зарегистрированных соответственно в I, II и III стандартных отведениях. Указанное соотношение носит название правила Эйнтховена. Направление средней проекции интегрального вектора ЭДС желудочков сердца на фронтальную плоскость тела называют средней электрической осью сердца. Ее определяют по соотношению положительных и отрицательных зубцов комплекса QRS в I и III отведениях, зная, что положительные зубцы образуются, если вектор направлен в сторону положительного электрода, а отрицательные, если вектор направлен к отрицательному или к так называемому индифферентному (объединенному) электроду. Этот электрод используют для регистрации ЭКГ в однополюсных (униполярных) отведениях - от конечностей и грудных, предназначенных для регистрации проекции вектора сердца на горизонтальную плоскость тела. При этом индифферентный электрод объединяет через смешивающие резисторы потенциалы обеих верхних и левой нижней конечностей. Воображаемые оси грудных однополюсных отведений соединяют точкиналожения положительных электродов с центром сердца, который имеет потенциал, близкий к нулю. Т.О., однополюсные отведения фактически являются двухполюсными (однополюсными их называют по традиции): полюса этих отведений лежат на одной оси с «электрическим центром» сердца (центр линии нулевого потенциала электрического поля).

Электрокардиографические отведения, широко используемые в клинической практике, унифицированы. Во всех странах принятасистема, включающая 12 отведений: три стандартных отведения от конечностей (I, II, III), три усиленных однополюсных отведения от конечностей (от правой руки - aVR, от левой руки - aVL и от левой ноги - aVF) и шесть однополюсных грудных отведений (V1, V2, V3, V4, V5, V6). Расположение положительного электрода для регистрации ЭКГ в стандартных и однополюсных отведениях от конечностей представлено на схеме (рис 2).

Стандартные отведения от конечностей (фронтальная плоскость проекции интегрального вектора сердца) регистрируют, устанавливая электроды на правое и левое предплечья и левую голень. При записи ЭКГ в I отведении электрод правой руки соединен с минусом электрокардиографа (отрицательный электрод), электрод левой руки - с плюсом (положительный электрод). Ось I отведения расположена горизонтально; ось II отведения направлена сверху вниз и справа налево; ось III отведения идет сверху вниз и слева направо. Т.К. по Эйнтховену оси стандартных отведений образуют стороны равностороннего треугольника, то углы между осями равны 60° (в действительности они несколько отличаются у разных людей).

Оси однополюсных отведений от конечностей располагаются от середины расстояния между объединенными электродами (-) до положительного электрода (+) на конечности, проходя через центр сердца (треугольника).

Все грудные отведения имеют общий отрицательный полюс (отрицательный электрод электрокардиографа, объединяющий электроды правой руки, левой руки и левой ноги), потенциал которого близок к нулю. Положительные полюса соответствуют положению грудных электродов: ось каждого отведения проходит между центром сердца и положением соответствующего грудного электрода. Располагают грудные электроды отведений V1-V6 следующим образом: V1 - в четвертом межреберье по правому краю грудины; V2 - на том же уровне по левому краю грудины; V3 - на уровне IV ребра по левой окологрудинной (парастернальной) линии; V4 - в пятом межреберье по левой среднеключичной линии; V5 - на уровне V4 по левой передней подмышечной линии; V6 - на том же уровне по левой средней подмышечной линии. Из такого расположения электродов следует, что оси грудных отведений лежат в плоскости, близкой к горизонтальной; она несколько опущена в сторону электродов отведений V5 и V6. Анализ ЭКГ, зарегистрированной в грудных отведениях, позволяет оценить отклонения интегрального вектора сердца в горизонтальной плоскости.

Двенадцать общепринятых отведений ЭКГ дают основную и в большинстве случаев достаточную диагностическую информацию, но иногда возникает необходимость использовать дополнительные отведения, многие из которых также унифицированы. Дополнительные крайние правые грудные отведения V3R - V6R регистрируют (например, при декстрокардии) справа от грудины симметрично V3 - V6. Крайние левые грудные отведения V7 (на уровне V4 по задней подмышечной линии), V8 и V9 (на том же уровне соответственно по левой лопаточной и паравертебральной линиям) могут дать важную диагностическую информацию при задних и боковых инфарктах миокарда, а высокие грудные отведения V12, V22, V23, V34, V35, V36, при которых электроды располагаются на два или одно межреберье выше, чем в отведениях V1-V6 (надстрочный индекс обозначает межреберье), - при базальных передних инфарктах. Низкие грудные отведения V61, V62, V63, V74, V75, V76 используют при смещении сердца в грудной полости в случае низкого стояния диафрагмы.

Отведение по Лиану применяют для уточнения диагноза сложных аритмий: его регистрируют при положении рукоятки коммутатора на I отведении, электрод для правой руки располагают во втором межреберье у правого края грудины, электрод для левой руки - у основания мечевидного отростка справа или слева от него в зависимости от того, при каком положении электрода лучше выявляется зубец Р.

Отведения по Небу записывают при положениях рукоятки переключателя на стандартных отведениях, электроды которых помещают на грудную клетку: электрод для правой руки - во втором межреберье у правого края грудины, электрод для левой руки - в точку, находящуюся на уровне верхушечного толчка по левой задней подмышечной линии, для левой ноги - на область верхушечного толчка. При этом в положении переключателя на I отведении регистрируют отведение D (dorsalis), на II отведении - A (anterior), на III отведении - I (inferior). Оси этих отведений составляют малый треугольник Неба. Отведения Неба часто применяют при проведении велоэргометрической и других функциональных электрокардиографических проб с физической нагрузкой.

Иногда регистрируют пищеводные отведения ЭКГ, для которых в качестве активного электрода используют оливу дуоденального зонда. На ЭКГ в этих отведениях хорошо виден предсердный зубец Р, а также изменения ЭКГ при инфаркте миокарда задней стенки левого желудочка Обычно пищеводные отведения применяют для диагностики нарушений ритма сердца, плохо идентифицируемых на ЭКГ в общепринятых отведениях.

В специальных диагностических и научных клинических исследованиях используют метод регистрации ЭКГ в 35 однополостных грудных отведениях по Мароко и электрокардиотопографию - синхронную регистрацию ЭКГ в 50 грудных отведениях, предложенную Р.З. Амировым (1965). Анализ таких ЭКГ трудоемок и обычно проводится с применением электронной вычислительной техники.

Внедрение в практику систем автоматизации анализа синхронно зарегистрированных ЭКГ в разных отведениях показало возможность замены 12 общепринятых отведений тремя корригированными ортогональными (взаимно перпендикулярными) отведениями X, Y, Z, в которых интегральный вектор сердца проецируется на три взаимно перпендикулярные оси пространств, что позволяет проводить количественный пространственный анализ ЭКГ.

**.2 Нормальная электрокардиограмма**

Отражает процесс распространения возбуждения по проводящей системе сердца и сократительному миокарду после генерации импульса в синусно-предсердном узле, который в норме является водителем ритма сердца. На ЭКГ в период диастолы (между зубцами Т и Р) регистрируется прямая горизонтальная линия, называемая изоэлектрической (изолинией). От импульса в синусно-предсердном узле возбуждение распространяется по миокарду предсердий, что формирует на ЭКГ предсердный зубец Р, и одновременно по межузловым путям быстрой проведения к предсердно-желудочковому узлу. Благодаря этомуимпульс попадает в предсердно-желудочковый узел еще до окончания возбуждения предсердий. По предсердно-желудочковому узлуимпульс идет медленно, поэтому после зубца Р до начала зубцов, отражающих возбуждение желудочков, на ЭКГ регистрируется изоэлектрическая линия; за это время завершается механическая систола предсердий. Затем импульс быстро проводится по предсердно-желудочковому пучку (пучку Гиса), его стволу и ножкам (ветвям), разветвления которых через волокна Пуркинье передают возбуждение непосредственно волокнам сократительного миокарда желудочков. Возбуждение (деполяризация) миокарда желудочков отражается на ЭКГ появлением зубцов Q, R, S (комплекса QRS), а реполяризация в ранней фазе - сегментом RST (точнее, сегментом SТ либо RT, если зубец S отсутствует), почти совпадающим с изолинией, а в основной (быстрой) фазе - зубцом Т. Часто за зубцом Т следует небольшая волна U, происхождение которой связывают с реполяризацией в системе Гиса - Пуркинье. Первые 0,01-0,03 с комплекса QRS приходятся на возбуждение межжелудочковой перегородки, которое в стандартных и левых грудных отведениях отражается зубцом Q, а в правых грудных отведениях - началом зубца R. Продолжительность зубца Q в норме не более 0,03 с. В следующие 0,015-0,07 с возбуждается миокардверхушек правого и левого желудочков от субэндокардиальных к субэпикардиальным слоям, их передняя, задняя и боковая стенки, в последнюю очередь (0,06-0,09 с) возбуждение распространяется на основания правого и левого желудочков. Интегральный вектор сердца в период между 0,04 и 0,07 с комплекса ориентирован влево - к положительному полюсу отведений II и V4, V5, а в период 0,08-0,09 с - вверх и слегка вправо. Поэтому в указанных отведениях комплекс QRS представлен высоким зубцом R при неглубоких зубцах Q и S, а в правых грудных отведениях формируется глубокий зубец S. Соотношение величин зубцов R и S в каждом из стандартных и однополюсных отведении определяется пространственным положением интегрального вектора сердца электрической оси сердца), что в норме зависят от расположения сердца в грудной клетке.

Таким образом, на ЭКГ в норме выявляются предсердный зубец Р и желудочковый комплекс QRST, состоящий из отрицательных зубцов Q, S, положительного зубца R, а также зубца Т, положительного во всех отведениях, кроме VR, в котором он отрицателен, и V1-V2, где зубец Т может быть как положительным, так и отрицательным или мало выраженным. Предсердный зубец Р в отведении aVR в норме также всегда отрицательный, а в отведении V1 он обычно представлен двумя фазами: положительной - большей (возбуждение преимущественно правого предсердия), затем отрицательной - меньшей (возбуждение левого предсердия). В комплексе QRS могут отсутствовать зубцы Q или (и) S (формы RS, QR, R), а также регистрироваться два зубца R или S, при этом второй зубец обозначается R1 (формы RSR1 и RR1) или S1.

Временные промежутки между одноименными зубцами соседних циклов называют межцикловыми интервалами (например, интервалы Р-Р, R-R), а между разными зубцами одного цикла - внутрицикловыми интервалами (например, интервалы P-Q, О-Т). Отрезки ЭКГ между зубцами обозначают как сегменты, если описывается не их продолжительность, а смещение по отношению к изолинии или конфигурация (например, сегмент ST, или RT, отрезок протяженностью от окончания комплекса QRS до окончания зубца Т). В патологических условиях они могут смещаться вверх (элевация) или вниз (депрессия) по отношению к изолинии (например, смещение сегмента ST вверх при инфаркте миокарда, перикардите).

Синусовый ритм определяется по наличию в отведениях I, II, aVF, V6 положительного зубца Р, который в норме всегда предшествует комплексу QRS и отстоит от него (интервал Р-Q или Р-R, если отсутствует зубец Q) не менее чем на 0,12 с. При патологической локализации предсердного водителя ритма близко к атриовентрикулярному соединению или в нем самом зубец Р в этих отведениях бывает отрицательным, сближается с комплексом QRS, может совпадать с ним по времени и даже выявляться после него.

Регулярность ритма определяется равенством межцикловых интервалов (Р-Р или R - R). При синусовой аритмии интервалы Р-Р (R-R) различаются на 0,10 с и более. Нормальная продолжительность возбуждения предсердий, измеряемая по ширине зубца Р, равна 0,08-0,10 с. Интервал Р-Q в норме составляет 0,12-0,20 с. Время распространения возбуждения по желудочкам, определяемое по ширине комплекса QRS, - 0,06-0,10 с. Продолжительность электрической систолы желудочков, т.е. интервал Q-Т, измеряемый от начала комплекса QRS до окончания зубца Т, в норме имеет должную величину, зависимую от частоты сердечных сокращений (должная продолжительность Q-Т), т.е. от длительности сердечного цикла (С), соответствующей интервалу R-R. По формуле Базетта должная продолжительность Q-Т равна k, где k - коэффициент, составляющий 0,37 для мужчин и 0,39 для женщин и детей. Увеличение или уменьшение интервала Q-Т в сравнении с должной величиной более чем на 10% - признак патологии.

Амплитуда (вольтаж) зубцов нормальной ЭКГ в разных отведениях зависит от особенностей телосложения обследуемого, выраженности подкожной клетчатки, положения сердца в грудной клетке. У взрослых нормальный зубец Р обычно наиболее высок (до 2-2,5 мм) во II отведении; он имеет полуовальную форму. Зубцы PIII и PaVL - положительные низкие (редко неглубокие отрицательные). Комплекс QRSпри нормальном расположении электрической оси сердца представлен в отведениях I, II, III, aVL, aVF, V4-V6 неглубоким (менее 3 мм) начальным зубцом Q, высоким зубцом R и маленьким конечным зубцом S. Наиболее высок зубец R в отведениях II, V4, V5, причем в отведении V4 амплитуда зубца R обычно больше, чем в отведении V6, но не превышает 25 мм (2,5 mV). В отведении aVR основной зубец комплекса QRS (зубец S) и зубец Т - отрицательные. В отведении V, регистрируется комплекс rS (строчной буквой обозначают зубцы относительно малой амплитуды, когда необходимо специально подчеркнуть соотношение амплитуд), в отведениях V2 и V3 - комплекс RS или rS. Зубец R в грудных отведениях увеличивается справа налево (от V, к V4-V5) и далее несколько уменьшается к V6. Зубец S уменьшается справа налево (от V2 к V6). Равенство зубцов R и S в одном отведении определяет переходную зону - отведение в плоскости, перпендикулярной пространственному вектору комплекса QRS. В норме переходная зона комплекса находится между отведениями V2 и V4. Направление зубца Т обычно совпадает с направлением наибольшего по амплитуде зубца комплекса QRS. Он положительный, как правило, в отведениях I, II, Ill, aVL, aVF, V2-V6 и имеет большую амплитуду в тех отведениях, где выше зубец R; причем зубец Т в 2-4 раза меньше (за исключением отведений V2-V3, где зубец Т может быть равным или выше R).

Сегмент ST (RT) во всех отведениях от конечностей и в левых грудных отведениях регистрируется на уровне изоэлектрической линии. Небольшие горизонтальные смещения (вниз до 0,5 мм или вверх до 1 мм) сегмента ST возможны у здоровых людей, особенно на фоне тахикардии или брадикардии, но во всех таких случаях необходимо исключать патологический характер подобных смещений путем динамического наблюдения, проведения функциональных проб или сопоставления с клиническими данными. В отведениях V1, V2, V3сегмент RST расположен на изоэлектрической линии или смещен вверх на 1-2 мм.

Варианты нормальной ЭКГ, зависимые от расположения сердца в грудной клетке, определяют по соотношению зубцов R и S или форме комплекса QRS в разных отведениях; таким же образом выделяют патологические отклонения электрической оси сердца при гипертрофии желудочков сердца, блокадах ветвей пучка Гиса и т.д. Эти варианты рассматривают условно как повороты сердца вокруг трех осей: переднезадней (положение электрической оси сердца определяется как нормальное, горизонтальное, вертикальное или как отклонение ее влево, вправо), продольной (поворот по ходу и против хода часовой стрелки) и поперечной (поворот сердца верхушкой вперед или назад).

Положение электрической оси определяется по величине угла б, построенного в системе координат и осей отведении от конечностей и вычисленного по алгебраической сумме амплитуд зубцов комплекса QRS в каждом из любых двух отведений от конечностей (обычно в I и III): нормальное положение - б от + 30 до 60°: горизонтальное - б от 0 до +29°; вертикальное б от +70 до +90°. Отклонение влево - б от -1 до -90°; вправо - б от +91 до ±80°. При горизонтальном положении электрической оси сердца интегральный вектор параллелен оси Т отведения; зубец RI высокий (выше, чем зубец RII); RIII < SIII; RaVF > SVF. При отклонении электрической оси влево RI > RII > RaVF < SaVF (RIII < SIII). При вертикальном положении электрической оси и отклонении ее вправо RI низкий, увеличиваются SI и RIII.

При повороте сердца вокруг продольной оси по часовой стрелке желудочковый комплекс на ЭКГ имеет форму RS в отведениях I, V5,6 и форму qR в отведении III. При повороте против часовой стрелки желудочковый комплекс имеет форму qR в отведениях I, V5,6 и форму RS в отведении III и умеренно увеличенный R в отведениях V1-V2 без смещения переходной зоны (в отведении V2 R < S). Поворот сердца верхушкой вперед отображается формой qR желудочкового комплекса, а верхушкой назад - формой RS во всех стандартных отведениях.

У детей нормальная ЭКГ имеет ряд особенностей, основными из которых являются: отклонение электрической оси сердца вправо (б составляет у новорожденных +90 - +180°, у детей в возрасте 2-7 лет - +40° - +100°); наличие в отведениях II, Ill, aVF глубокого зубца Q, амплитуда которого уменьшается с возрастом и становится близкой к таковой у взрослых к 10-12 годам; низкий вольтаж зубца Т во всех отведениях и наличие отрицательного зубца Т в отведениях III, V1-V2 (иногда и V3, V4), меньшая продолжительность зубцов Р и комплекса QRS - в среднем по 0,05 с у новорожденных и по 0,07 с у детей от 2 до 7 лет; более короткий интервал Р-Q (в среднем 0,11 с у новорожденных и 0,13 с у детей от 2 до 7 лет). К 15 годам перечисленные особенности ЭКГ в значительной мере утрачиваются, продолжительность зубца Р и комплекса QRS составляет в среднем по 0,08 с, интервала Р-Q - 11,14 с.



Рис. 1 Электрокардиограмма здорового человека: ритм синусовый, 60 сокращений в 1 мин; интервалы: Р-Q = 0,13 с, Р = 0,10 с, QRS = 0,09 с, QRST = 0,37 с. Зубец Р в отведениях I, II, III, aVF, aVL, V2 - V6 положительный, в отведении V1 зубец Р - двухфазный (±), в отведении aVR - отрицательный. RII > RI = RIII (∠б= +60°). Зубец TII > TI > TIII положительный. Зубец Q в отведениях I, II, aVF, V5-V6 не превышает 0,02 с. В грудных отведениях высота зубцов R и Т наибольшая в отведении V4; она постепенно уменьшается в направлении отведений V1 и V6, имея наименьшую величину в отведении V1. Переходная зона в отведении V3. Сегмент RST в отведениях I, II, V4-V6 на уровне изолинии в отведениях III, V2 - смещен вверх (менее 1 мм)



Рис. 2. Схема расположения электродов при регистрации однополюсных грудных отведении ЭКГ: V1 - V6 - общепринятые грудные отведения; V3R - V6R - дополнительные правые грудные отведения; 1, 2, 3, 4 - межреберные промежутки.



Рис. 4. Схематическое изображение нормальной электрокардиограммы: Р - зубец, отражающий ход распространения возбуждения по предсердиям; интервал Р-Q - время от начала возбуждения предсердий до начала возбуждения желудочков; интервал Q-Т - время электрической систолы желудочков, включающей распространение возбуждения по желудочкам сердца - комплекс QRS, сегмент RST и зубец Т; волна U, которая в норме наблюдается не всегда; R-R (Р-Р) - межцикловой интервал; Т-Р - диастолический интервал

**2. Структура и функции электрокардиологических БТС**

Зная длительность одного сердечного сокращения, можно определить число сокращений сердца в минуту.

Расстояние от начала зубца Р до начала зубца С (а при отсутствии его до начала зубца - интервал Р - С соответствует времени охвата возбуждением предсердий и атриовентрикулярного соединения.

Изменениям этого интервала придают большое диагностическое значение.

Расстояние от начала зубца 0. (#) до окончания зубца - 5 (Я) - комплекс соответствует времени охвата возбуждением желудочков, а расстояние от начала (3 (Я) до окончания зубца Т - интервал С2^5Г характеризует длительность электрической систолы, которая зависит от частоты сердечных сокращений, поэтому для ее оценки необходимо фактическую длительность сравнить с долженствующей для данного ритма.

Процентное отношение длительности систолы к длительности сердечного цикла называется систолическим показателем. Определение его дает возможность сориентироваться в степени удлинения систолы. Определяется фактический систолический показатель; с помощью таблицы он сравнивается с долженствующим для данного ритма.

Интервал от начала до перпендикуляра, опущенного от верхушки зубца Я, - время внутреннего отклонения, или время активации желудочков. Его определение особенно важно в отведениях при решении вопроса о гипертрофии желудочков, а также для диагноза блокады ножек пучка Гиса.

Электрокардиография позволяет изучать следующие функции сердца:автоматизм, проводимость, возбудимость, рефрактерность и аберрантность. О сократительной функции с помощью этого метода можно получить лишь косвенное представление. О функции тоничности электрокардиография не дает никаких сведений**.**

**Результаты патентно-реферативных исследований по методам и средствам диагностики электрокардиографией**

В первой главе на основе анализа литературных источников обоснована необходимость совершенствования и повышения достоверности существующих методов контроля качества ЭКС. Приведены данные зарубежных и отечественных исследований,

свидетельствующие о значительном количестве врачебных ошибок, связанных с использованием для диагностики сигналов неудовлетворительного качества. Сделан вывод о том, что эти проблемы особенно характерны в задачах телеметрической электрокардиографии, суточного и прикроватного мониторинга. С использованием нормативной базы и литературных источников проведено обоснование терминологической базы и целесообразность использования терминов «качество электрокардиографического сигнала» и «техническое качество электрокардиографического сигнала», под которыми понимаются корректность идентификационных данных, клинической информации и корректность установки электродов отведений, стабильность базовой линии, наличие артефактов, правильность работы, статические и динамические погрешности прибора соответственно.

Систематизированы нормативные и законодательные источники, регламентирующие сертификацию, поверку и контроль технического состояния ЭКП. Выявлены существенные недостатки в актуальной методике поверки, которые заключаются в высокой трудоёмкости поверочных процедур и в том, что установленные средства поверки не удовлетворяют параметрам точности, регламентированным в ГОСТ Р МЭК 60601-2-51 от 2008 г. Установлено, что ввиду указанных причин текущий контроль состояния ЭКП в рамках ЛПУ практически не проводится. Проведен анализ возможных путей автоматизации процедуры метрологической поверки, на основе которого сделан вывод о целесообразности автоматизации рутинных измерений линейных размеров записанного на электрокардиографическую ленту тестового сигнала.

С целью формирования требований и предварительной структуры метода контроля качества ЭКС проведены:

анализ факторов, влияющих на качество ЭКС: основных источников шумов, артефактов и наиболее часто встречающихся методических ошибок, а также их возможного влияния на сигнал;

классификация методов расчета параметров, характеризующих наличие шумов и артефактов в сигнале (метрик качества): на основании использования в качестве классификационного признака вида математического аппарата, заложенного в базовый алгоритм расчета, выделены группы: параметрические, статистические, частотно-временные, аналитические, частотные, корреляционные и др.;

классификация известных методов контроля качества ЭКС по следующим классификационным признакам: количество используемых метрик качества; вид используемых метрик; необходимость предварительной обработки сигнала; использование сопутствующей медицинской информации; используемая шкала качества; возможность

формирования рекомендаций по улучшению качества; возможность определения инверсии электродов отведений.

На основе проведённых обзоров и классификаций предложена структура обобщенной системы контроля качества ЭКС, а также сформированы требования и ограничения разрабатываемого метода контроля, наиболее значимыми из которых являются: использование в качестве входных данных сигналов 12 стандартных ЭКГ отведений длительностью не менее 10 с, полученных при проведении ЭКГ-покоя (в том числе телеметрическое ЭКГ), суточного и прикроватного мониторинга.

**Выбор и обоснование структурно-функциональной схемы БТС ЭКГ**

На основе патентно-реферативных исследований по методам и средствам диагностики электрокардиографией можно сказать, что исходя из характера выбранных метрик качества на базе проведенного обзора методов машинного обучения сформированы требования к методу классификации: возможность классификации на несколько классов, использование численных и именованных параметров, возможность работы с неполными множествами параметров. Проведены исследования эффективности работы различных методов машинного обучения.

В качестве множества сигналов для обучения и тестирования использована выборка, подготовленная в главе 2. Для всех методов при обучении проведена перекрестная проверка методом k-fold. Установленная общая точность классификации (количество верно классифицированных записей по отношению к общему количеству записей в тестовой выборке) для исследованных методов следующая: нейронная сеть (алгоритм) - 59%; метод опорных векторов - 60,1%; линейный дискриминантный анализ - 59,6%; наивный Байесовский классификатор - 58,4%; метод k-ближайших соседей - 60,7%; композиция деревьев принятия решений - 85,7%.

Таким образом, наибольшую точность классификации обеспечивает метод композиции деревьев принятия решений, оптимизированных по алгоритму RUSBoost.

На рисунке 4 представлена диаграмма матрицы неточности данного метода, согласно которой, точность классификации по различным классам качества следующая: отлично - 93%; хорошо - 62,5%; удовлетворительно - 66,6%; неудовлетворительно - 97,5%. Таким образом, использование выбранного набора метрик и классификатора качества, основанного на методе композиции деревьев принятия решений, позволяет успешно решить задачу контроля качества ЭКС с использованием четырех бальной шкалы при снижении погрешности отнесения неудовлетворительного ЭКС к классам пригодных для анализа сигналов на 4,5% по сравнению с известными методами.



Для реализации метода контроля качества ЭКС предложен алгоритм, представленный на рисунке 5. Вначале производится ввод сигналов 12 стандартных отведений ЭКС, длительностью 10 с, дискретизированных с частотой 500 Гц (блок 1).



Блок схема алгоритма контроля качества ЭКС

В блоке 2 производится эмпирическая модовая декомпозиция полученных сигналов (максимальное количество ЭМ - 15, граничные условия - wave, метод сглаживания - кубическая сплайн интерполяция).

Блок 3 определяет количество отсутствующих сигналов отведений, а блок 4, соответственно, принимает решение о классе качества сигнала. В случае отсутствия более одного сигнала стандартных отведений или более 3 сигналов грудных отведений алгоритм переходит к блоку 9 (неудовлетворительное качество) и далее к блоку 12 отображения класса качества. Блок 5 реализует алгоритм расчета положений R-зубцов, а

блок 6 рассчитывает параметры ритма сердца и, таким образом, формирует данные для расчета метрик: наличие нарушения ритма, частота сердечных сокращений, процент QRS-комплексов, успешно определенных на каждом отведении по отношению к количеству QRS-комплексов на всех отведениях. Блок 7 реализует алгоритм определения инверсии электродов, а блок 8 принимает решения о классе качества. В случае обнаружения инверсии электродов (неудовлетворительное качество) алгоритм переходит к блоку 12. Блок 10 предназначен для расчета набора базовых метрик качества, а блок 11 реализует разработанный классификатор. Результатом является класс качества ЭКС.

Предложена структура устройства, реализующего разработанный метод контроля качества ЭКС с использованием блоков эмпирической модовой декомпозиции, расчета метрик качества ЭКС и классификатора.

Представлены результаты апробации метода контроля качества ЭКС, в БУЗ Орловской области «Детская областная клиническая больница им. З.И. Круглой», подтверждающие работоспособность и эффективность метода при обеспечении точности классификации сигналов неудовлетворительного качества 96,2%.

## **3. Новые перспективы использования электрокардиографии в амбулаторной и профилактической кардиологии**

Одной из важнейших проблем внутренней патологии в целом и кардиологии, в частности, является проблема комплаентности или добросовестного соблюдения пациентом рекомендаций врача в ходе лечебных и профилактических мероприятий. Повышению комплаентности способствует предоставление пациенту возможности с помощью современной аппаратуры самостоятельно контролировать уровень холестерина, глюкозы крови или артериального давления.

С нашей точки зрения, сегодня сложились все условия для внедрения в практику профилактической и клинической кардиологии метода самоконтроля ЭКГ.

К началу XXI века электрокардиография стала одним из самых распространенных и наиболее доступных методов исследования сердечной деятельности. В Санкт-Петербурге за 2010 года всего снято 2,5 млн ЭКГ, из них в амбулаторно-поликлинической сети - более 1 млн ЭКГ. В то время как в условиях стационара регистрация ЭКГ покоя является рутинной процедурой, запись ЭКГ в амбулаторных условиях и, особенно, на дому выполняется далеко не сразу и сопряжена с известными трудностями. Время ожидания от момента врачебного назначения ЭКГ исследования до получения результатов ее анализа, даже по официальным отчетам, достигает 7-8 дней. Стоимость снятия и расшифровки ЭКГ по платным услугам в среднем составляет 300 рублей, что, с учетом необходимости проведения динамических ЭКГ исследований, становится серьезным препятствием для проведения таких обследований среди малообеспеченных категорий граждан. Особые проблемы сопряжены с регистрацией ЭКГ в случае развития пароксизмальных расстройств ритма или болевого приступа. В подобных случаях расчет на быстрое прибытие скорой или неотложной помощи далеко не всегда себя оправдывает, поскольку пароксизмы аритмий, так же как и приступы ангинозных болей, бывают достаточно короткими и соответствующее событие, способное дать врачу ключ к диагностическому поиску, не удается документировать. Следствием этого является направление больного на обследование в диагностический центр или стационар, где проводится суточное мониторирование (СМ) ЭКГ и стресс-ЭКГ тест. В Санкт-Петербурге за 2010 год в стационарах и поликлиниках выполнено примерно 16000 стресс-ЭКГ и 90.000 СМЭКГ. Примерная стоимость выполнения и описания СМ ЭКГ составляет 1.300 рублей, а стресс-ЭКГ теста 1800 рублей. Таким образом, стоимость ЭКГ обследований населения составляет:

. ЭКГ покоя в 12 отведениях - 750 000 000 (2.5 млнх300 руб.)

. ЭКГ-стресс тест - 28 800 000 (16 000×1800 руб.)

. СМ ЭКГ - 11 700 000 (90 000×1300 руб.)

Если к этому прибавить высокую потребность регистрации ЭКГ на дому, столь необходимую для больных с острой кардиальной патологией или для больных с выраженной сердечной недостаточностью, стоимость которой составляет около 1000 рублей, то станет ясно, что общие расходы на ЭКГ обследования, выполняемые в СПб за 2010 г., составляют около 1 млрд рублей.

Очевидно, что многих диагностических исследований можно было бы избежать, если бы у пациента в момент внезапно развившегося приступа, была необходимая аппаратура для регистрации и передачи ЭКГ. Другим препятствием к выполнению такого исследования непосредственно в момент возникновения приступа является прочно укоренившееся в медицинской среде представление о необходимости выполнения этой процедуры специально обученным медицинским персоналом.

Преодоление этих трудностей стало возможным, благодаря возникновению и бурному развитию телемедицины и одного из ее направлений - ЭКГ-телеметрии. Уже созданы и имеются в продаже устройства съема информации (УСИ), позволяющие зарегистрировать и передавать ЭКГ по телефонному каналу в дистанционный консультативный центр (ДКЦ), где пациент или врач может получить необходимую консультацию. Опыт работы таких консультативных центров, предоставляющих пациенту возможность иметь при себе УСИ и при необходимости передавать ЭКГ врачу ДКЦ, показал принципиальную возможность включения пациента в диагностический процесс и перспективность широкого использования ЭКГ-телеметрии. Вместе с тем, нельзя не отметить, что все без исключения устройства, позволяющие регистрировать и передавать электрокардиосигнал (ЭКС), используют для такой передачи телефонные каналы связи, что снижает качество электрокардиограммы. Другим, с нашей точки зрения, существенным недостатком, имеющихся сегодня на рынке телеметрических систем передачи ЭКГ, является стремление разработчиков максимально упростить процедуру наложения электродов, для чего предлагается перенести точки наложения электродов с конечностей на туловище, наподобие отведений Мезон - Ликара (Mason - Likar), использующихся при выполнении стресс-ЭКГ теста. Уместно подчеркнуть, что такой перенос электродов существенно снижает диагностические возможности ЭКГ метода в распознавании нарушений кровообращения в задне-диафрагмальных отделах левого желудочка.

Другой попыткой упрощения процедуры регистрации ЭКГ является разработка устройства, позволяющего последовательно регистрировать три пары грудных отведений или предложение накладывать грудные электроды с помощью специального пояса, крепящегося на грудной клетке. Так или иначе, ЭКГ-телеметрия сегодня является эффективным и стремительно развивающимся сектором рынка медицинских услуг с оборотом почти $ 1 млрд. в год. Уже имеются и отечественные системы, позволяющие осуществлять регистрацию и передачу ЭКГ пациента в ДКЦ.

Следует назвать несколько типичных клинических ситуаций, при которых ЭКГ-телеметрия оказывает неоценимую помощь в решении диагностических и клинических задач. Речь идет, прежде всего, о развитии редких приступов аритмии и синкопальных состояний неясного генеза, когда использование СМ может не выявить аритмическго события. К таким событиям относятся короткие пароксизмы фибрилляции и трепетания предсердий, предсердной и желудочковой тахикардии, эпизоды брадисистолии при ЧСС менее 45 ударов в секунду или паузы более 2 секунд, а также транзиторные АВ блокады различных степеней. По результатам прямого сравнения информативности телемониторинга и СМ ЭКГ, было установлено, что транстелефонный мониторинг ЭКГ обеспечивал диагностическую ценность распознавания этих событий в 70% по сравнению с 40% при СМ ЭКГ. Оперативный телеметрический контроль ЭКГ позволяет в более ранние сроки диагностировать развитие или рецидив аритмии и начать своевременное лечение.

ЭКГ-телеметрия используется также для телемониторинга острого коронарного синдрома, наблюдения за больными с хронической сердечной недостаточностью и имплантированными электрокардиостимуляторами, при редких приступах стенокардии покоя. Не менее актуально использование метода для самоконтроля у спортсменов. Таким образом, ЭКГ-телеметрия является перспективным методом инструментального исследования в кардиологии и используется в следующих форматах:

. Консультация врачей общей практики специалистом кардиологом (предполагает передачу ЭКГ и клинических данных о больном и получение консультации по телефону).

. Консультация пациента по результатам переданной в консультативный центр ЭКГ, снятой по поводу аритмии или кардиалгии.

. ЭКГ-консультации пациентов ЛПУ удаленных районов с целью оказания им медицинских услуг такого же высокого качества, как и пациентам ведущих медицинских центров.

Эти форматы предполагают активное участие врача-специалиста, как в определении клинических показаний, так и в выполнении самой процедуры. ЭКГ-телеметрия сегодня, хотя и допускает возможность самостоятельного участия пациента в процессе передачи ЭКС, однако ситуации, которые требуют такой передачи, строго оговариваются и согласуются с врачом.

**Суть предложения авторов статьи состоит** в предоставлении пациенту возможности использования ЭКГ-телеметрии для регистрации и передачи ЭКГ с целью самоконтроля. Дело в том, что сегодня между пациентом, нуждающимся в регистрации ЭКГ, и специалистом-кардиологом стоит участковый или семейный врач, дающий пациенту направление на обследование, что, как мы уже отмечали, приводит к задержкам в регистрации ЭКГ и увеличивает время необходимое для принятия диагностического решения. Предоставление пациенту возможности самостоятельно регистрировать и передавать ЭКГ на сервер, а при необходимости получать и хранить запись ЭКГ в 12 общепринятых отведениях, могло бы не только существенно сократить его временные и материальные затраты, но и сделало бы возможным создание собственного архива. В свою очередь, наличие такого архива открывает возможность в любой момент времени уточнить характер ЭКГ, зарегистрированной во время события, и получить важные сведения об ЭКГ - динамике в процессе наблюдения. Таким образом, сегодня следует вести речь о новом направлении ЭКГ-телеметрии, которое мы по аналогии с устоявшимся термином «самоконтроль АД» предлагаем называть самоконтролем ЭКГ (СКЭКГ). Последний может, с нашей точки зрения, широко использоваться для решения различных задач профилактической и клинической кардиологии.

Что касается профилактической кардиологии, то предлагаемая нами программа вынесения предварительного заключения по ЭКГ в терминах «норма-отклонение от нормы-патологии» может помочь пациенту, периодически выполнять ЭКГ исследование и получать подтверждение с сервера о том, что сердечный ритм и форма предсердно-желудочкового комплекса находятся в диапазоне нормы. При получении сигнала о выходе из нормального диапазона пациенту следует обратиться за консультацией к врачу. При широком внедрении метода СКЭКГ открываются перспективы не только документировать редкие приступы аритмий или нарушения процессов реполяризации во время загрудинных болей / кардиалгий, но и создавать и хранить архив ЭКГ на сервере или у себя дома.

Особого обсуждения заслуживает вопрос о возможности использования компьютерного (РС) анализа в процедуре СКЭКГ. Само собой разумеется, что заключение, полученное при РС анализе ЭКГ,должно визироваться или корректироваться врачом. Нам представляется, что без предварительного просмотра ЭКГ врачом, пациент не должен иметь доступ к результатам автоматического анализа. Однако РС анализ ЭКГ может найти свою нишу в процедуре СКЭКГ. Речь может идти о предварительном РС анализе ЭКГ с вынесением заключения в терминах «норма-отклонение от нормы-патологии» и об использовании возможностей РС анализа для расчета интервалов и зубцов, а также помощи в правильной интерпретации ЭКГ данных, которая может быть полезна семейному или участковому врачу, не имеющему достаточного опыта анализа ЭКГ.

Разумеется, измерительная часть программы компьютерного анализа ЭКГ должна обеспечивать достаточную надежность выделения ЭКГ признаков, а диагностические алгоритмы должны обеспечивать высокую диагностическую эффективность и быть настроены на максимально возможное исключение ошибок пропуска. Уместно подчеркнуть, что программы компьютерного анализа ЭКГ, используемые в комплексе «Кардиометр», прошли всесторонние клинические испытания и обеспечивают высокую достоверность в распознавании основных ЭКГ синдромов. Таким образом, пациент, передавая ЭКГ на сервер для компьютерной обработки, получает возможность решить две задачи;

получить с сервера предварительное компьютерное заключение по результатам автоматического анализа ЭКГ в режиме, условно названном нами «светофор». Речь идет о сообщении, что зарегистрированная ЭКГ является «вариантом нормы» или при анализе «выявлены некоторые отклонения», или «выявлена ЭКГ-патология», требующая обращения к врачу;

независимо от результатов предварительного РС анализа получить ЭКГ, отснятую в 12 общепринятых отведениях, на свой персональный компьютер и, в случае необходимости**,** распечатать ее для последующего предъявления врачу-специалисту. Само собой разумеется, что диагностические алгоритмы при использовании классификации «норма-отклонение от нормы-патологии» должны быть настроены на минимизацию вероятности гиподиагностических ошибок, в особенности касающихся признаков инфаркта и ишемии миокарда, а инструкция пользователя должна содержать предупреждение о том, что любые диагностические решения должен принимать врач. Достоинства от реализации такого подхода достаточно очевидны.

· Пациент, регистрирующий ЭКГ в таком режиме, может, минуя обращение в поликлинику и ожидание очереди на запись ЭКГ, самостоятельно получать, сохранять и распечатывать графики ЭКГ на принтере и обращаться с ними к врачу.

· Получение сообщения об «ЭКГ-норме», не исключая возможности распечатки ЭКГ, обеспечивает динамический контроль и самостоятельное повторное обращение на сервер для автоматического анализа ЭКГ. В последнем случае сигналом для обращения к врачу может послужить не только ухудшение самочувствия, но и получение с сервера иного результата автоматического анализа, такого как: «имеются отклонения от нормы» или «ЭКГ признаки патологии». В подобной ситуации пациент будет обращаться за консультацией к специалисту, уже имея на руках ЭКГ данные, что существенно меняет обоснованность и надежность консультационного решения.

Еще раз подчеркнем, что, самостоятельно приобретая УСИ, пациент имеет возможность получить график ЭКГ в 12 общепринятых отведениях или компьютерную расшифровку ЭКГ в терминах «норма-отклонение-патология». Другой вариант использования СКЭКГ заключается в доступе к серверу, как пациента, так и его врача-консультанта. В таком случае пациент имеет неограниченную возможность не только регистрации ЭКГ, но и получения полноценных консультаций у врача-специалиста, как по клиническим, так и по ЭКГ данным. Само собой разумеется, что алгоритм компьютерного анализа ЭКГ с вынесением заключения в терминах «норма-отклонение от нормы-патологии» должен быть настроен таким образом, чтобы практически исключить ошибки пропуска очаговых изменений миокарда и, в особенности, острого инфаркта миокарда, при вполне допустимой гипердиагностике «патологической ЭКГ» (до 5% случаев). Таким образом, все сказанное, а также повсеместное внедрение сотовой связи, интернет-технологий и широкое распространение компьютерной техники и послужило для нас основанием к разработке этой новой медицинской технологии, которую мы назвали «самоконтроль ЭКГ». Суть ее состоит в следующем:

. УСИ является доступным медицинским прибором бытового назначения, обеспечивающим синхронную регистрацию ЭКГ в 12 общепринятых отведениях на удаленный терминал по телефонному радиоканалу.

. Обязательным приложением к УСИ должно быть «Руководство пользователя», содержащее подробную инструкцию о правилах наложения электродов, регистрации ЭКГ и работы с сервером.

. Пациенту предоставляется возможность выхода на сервер, осуществляющий прием кардиосигнала, его обработку и хранение.

. Пациент имеет возможность получения на собственный компьютер отснятой ЭКГ в графическом режиме (без РС заключения) и / или результатов автоматического анализа ЭКГ с предварительной ее классификацией на «ЭКГ - вариант нормы», «ЭКГ - отклонение от нормы» и «ЭКГ - патологическая».

Суммируя все изложенное, следует подчеркнуть, что технические решения, реализованные в разработанном устройстве, которое мы назвали «Домашним кардиометром», позволяют использовать методику СКЭКГ для передачи ЭКС как через мобильный телефон, так и через компьютер на сервер с получением заключения в режиме «светофор» и / или графика в 12 общепринятых отведениях. УСИ ЭКГ через Bluetooth передает сигнал либо на мобильный телефон, либо на персональный компьютер, имеющий выход в Интернет. Соответственно, ЭКГ через телефон или компьютер отправляется на сервер, где переданная ЭКГ не только хранится в индивидуальном архиве, но и может быть отправлена на мобильный телефон в виде краткого заключения в режиме «светофор» или на персональный компьютер в виде графика типичных комплексов в 12 общепринятых отведениях и длинного отрезка ЭКГ в одном из отведений. Получение распечатки ЭКГ с типичными комплексами в 12 общепринятых отведениях позволяет пациенту обращаться к кардиологу, уже имея на руках снятую ЭКГ. При этом пациент имеет возможность заключить договор об обслуживании с врачом - кардиологом (персональным или работающем в диагностическом центре), предоставляя ему код доступа в «личный архив» на сервере. В этом случае пациент привлекает врача-специалиста к оценке своего состояния. Последний, имея сведения о больном и доступ к серверу, получает возможность корректировать автоматическое ЭКГ заключение, просматривать все ЭКГ пациента, хранящиеся на сервере, в динамике и на основании данных анамнеза и результатов анализа давать рекомендации по профилактике или лечению.

Но самым главным результатом, полученным в итоге предварительных испытаний аппаратуры, является высокое качество ЭКГ. Нет сомнений в том, что широкое внедрение СКЭКГ в практическое здравоохранение откроет новые перспективы для решения актуальных задач клинической и профилактической кардиологии и повысит приверженность больных к предупреждению и лечению кардиальной патологии.

**Выводы**

1. В реферате рассмотрены особенности БТС для электрокардиологических исследований, подробно рассмотрено электрокардиограмма здорового человека, также рассмотрена схема расположения электродов при регистрации однополюсных грудных отведении и др.

2. Мы поговорили о структуре и функциях БТС ЭКГ, также провели патентно-реферативные исследований по методам и средствам диагностики электрокардиографией в результате которой выбрали блок схему алгоритма контроля качества ЭКС.

3. Рассмотрели инновационные идеи авторов статьи в частности ЭКГ-телеметрия, и попытались взглянуть на перспективы данной отрасли.

**Список литературы**

1) http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\_medicine

) http://ya-em.ru

) Диссертация на тему: «Методы и средства контроля

электрокардиоаппаратуры и качества электрокардиграфических сигналов»/ Козюра А.В. - 2013 г.

) http://pmarchive.ru/