

его контурному сигналу. А максимумы оценок $\sqrt{\mu_1^1}$ отражают характерную «тонкую» структуру исходного изображения. Так, максимумы на изображении (рис. 1,в) соответствуют параболическим, а на изображении рис. 2,в и 3,в – гиперболическим (седловидным) и эллиптическим элементам функции яркости исходного изображения. Эти элементы и составляют алфавит инвариантных структурных элементов описания биомедицинских изображений.

Такой вывод позволяет по-новому взглянуть на проблему контурного описания изображения, пополняя арсенал методов выделения граничных точек объектов на изображении и анализа двумерных биомедицинских сигналов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Разин И.В.* Оценка спектральных характеристик изображений через статистики перепадов яркости // Радиоэлектроника, Известия высших учебных заведений России. 2001. – №1. – С.73–80.
2. *Rangaraj M. Rangayyan.* Biomedical Signal Analysis, IEEE Press, 2002. 516p.
3. *Март Д.* Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов: Пер. с англ./ Под. ред. И.Б. Гуревича. – М.: Радио и связь, 1987. – 399 с.

УДК 615.478

А.П. Гордейчук, Е.П. Попечителев

МОНИТОР ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА С АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ КОМПЕНСАЦИИ АСИММЕТРИИ ВХОДНЫХ ИМПЕДАНСОВ

Организм человека – это сложнейший механизм из множества взаимосвязанных органов, деятельность которых регулируется центральной нервной системой. Благодаря большим резервам регуляторных систем организма, даже очень серьезное заболевание в начальной стадии часто протекает без ярко выраженных симптомов и не беспокоит больного. В то же время, хорошо известно, что лечение заболеваний наиболее эффективно в ранней стадии. Поэтому исследования, проводимые с целью разработки новых приборов, позволяющих контролировать состояние организма и выявлять заболевания на ранних стадиях, являются очень актуальными.

При возникновении «неполадок» в функционировании какого-либо органа, организм перестраивает свою работу так, чтобы скомпенсировать ухудшение общего состояния. При этом могут изменяться некоторые физиологические параметры, такие, как: температура тела, артериальное давление крови, биохимический состав крови, частота сердечных сокращений и другие.

В 60-х годах прошлого века, благодаря успехам в области космической медицины началось развитие анализа variability сердечного ритма (ВСР) (Parin V.V., Baevsky R.M., Gazenko O.G, 1965). В результате ряда проведенных исследований было показано, что анализ ВСР является эффективным методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека [1]. В частности, показано, что показатель ВСР отражает общую активность регуляторных механизмов, нейрогуморальную регуляцию сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы.

Для оценки функционального состояния организма по ВСР, профессором Р. Баевским

был предложен показатель активности регуляторных систем (ПАРС) [2]. Значения ПАРС выражаются в баллах от 1 до 10. На основании анализа значений ПАРС могут быть диагностированы следующие функциональные состояния:

- состояние оптимального (рабочего) напряжения регуляторных систем, необходимое для поддержания активного равновесия организма со средой (норма ПАРС = 1-2);
- состояние умеренного напряжения регуляторных систем, когда для адаптации к условиям окружающей среды организму требуются дополнительные функциональные резервы. Такие состояния возникают в процессе адаптации к трудовой деятельности, при эмоциональном стрессе или при воздействии неблагоприятных экологических факторов (ПАРС 3-4);
- состояние выраженного напряжения регуляторных систем, которое связано с активной мобилизацией защитных механизмов, в том числе повышением активности симпатико-адреналиновой системы и системы гипофиз-надпочечники (ПАРС = 4-6);
- состояние перенапряжения регуляторных систем, для которого характерна недостаточность защитно-приспособительных организмов, их неспособность обеспечить адекватную реакцию организма на воздействие факторов окружающей среды. Здесь избыточная активация регуляторных систем уже не подкрепляется соответствующими функциональными резервами (ПАРС =6-7);
- состояние истощения (астенизации) регуляторных систем, при котором активность управляющих механизмов снижается (недостаточность механизмов регуляции) и появляются характерные признаки патологии. Здесь специфические изменения отчетливо преобладают над неспецифическими (ПАРС = 7-8);
- состояние «полома» адаптационных механизмов (срыв адаптации), когда доминируют специфические патологические отклонения и способность адаптационных механизмов к саморегуляции частично или полностью нарушена (ПАРС = 8-10).

При оценке значений ПАРС условно выделяются три зоны функциональных состояний, для наглядности представленные в виде «светофора»: ЗЕЛЁНЫЙ – означает, что все в порядке, не требуется никаких специальных мероприятий по профилактике и лечению. ЖЕЛТЫЙ – указывает на необходимость проведения оздоровительных и профилактических мероприятий. Наконец, КРАСНЫЙ – показывает, что требуется вначале диагностика, а затем и лечение возможных заболеваний. Такое разделение на зоны, делает анализ ВСР в конечном счете очень наглядным для неискушенного в медицинских терминах пользователя.

Однако проведение анализа ВСР до недавнего времени было возможным только на персональных компьютерах (ПК). Это связано с тем, что анализ ВСР требует достаточно громоздких вычислений. Необходимо производить как статистические расчеты, так и частотный анализ с применением быстрого преобразования Фурье или автокорреляционной функции.

Съём биопотенциалов в электрофизиологической аппаратуре обычно производится с помощью двух дифференциальных и одного заземляющего электрода, с использованием дифференциального усилителя и системы «активной земли», что позволяет ослабить синфазную помеху [3]. Однако конечное входное сопротивление усилителя и различия во входных импедансах «электрод-кожа» снижают эффективность дифференциальной системы. Это приводит к необходимости дополнительной фильтрации (как правило, используются режекторные фильтры на частоту 50 Гц.) Фильтрация ведет к потере части спектра полезного сигнала и снижает точность определения временного положения максимума R-зубца.

В результате проведенных исследований, была выбрана современная элементная база, применение которой позволило создать малогабаритный прибор, выполняющий те же математические операции, что и уже существующие системы, использующие для вычис-

лений стационарный персональный компьютер.

В разработке использованы оригинальные аппаратные и программные решения, что позволило выполнить прибор экономичным и миниатюрным.

Для повышения качества регистрации биопотенциалов и увеличения точности определения R-R-интервалов, в приборе применена система автоматической компенсации входных импедансов [4]. Это позволило отказаться от применения прецизионного дифференциального усилителя на входе [5], что способствует повышению экономичности устройства. Благодаря системе отсутствует необходимость использования дополнительного заземляющего электрода и режекторного фильтра.

Для выделения R-зубца применен обучаемый алгоритм на основе трёхслойной рекуррентной нейронной сети, работающий в реальном времени. Весовые коэффициенты нейронной сети подобраны с помощью математического моделирования на основе около 500 записей ЭКГ-сигналов из баз данных Массачусетского Технологического университета. Тестирование алгоритма в реальных условиях показало устойчивость к различным артефактам, высокий процент достоверных регистраций R-зубцов.

Прибор можно закрепить на запястье руки с помощью ремешка или положить в карман. Благодаря этому контроль функционального состояния организма можно производить круглосуточно и в любой обстановке, что значительно расширяет его возможности. На лицевой панели монитора расположен жидкокристаллический матричный дисплей, позволяющий выводить как цифровые, так и текстовые сообщения. В верхней части корпуса прибора расположены три индикатора – зелёного, жёлтого и красного цветов свечения, в соответствии с тремя зонами функционального состояния организма. К монитору подключаются два электродных датчика, которые устанавливаются на грудной клетке. Место установки датчиков не очень критично, поэтому установку электродов и подключение монитора можно произвести без участия врача.

После установки электродов монитор производит автоматическое тестирование системы и начинает работу.

Через 5 минут сбора информации, монитор производит вычисления и выводит на дисплей частоту сокращений сердца, текущее время, ПАРС и словесное определение состояния организма. При регистрации сердечных сокращений синхронно вспыхивает индикатор того цвета, который соответствует физиологическому состоянию организма. Этот процесс в дальнейшем продолжается в режиме реального времени, что позволяет индивидуально контролировать степень напряжения организма, например при выполнении ответственных или опасных работ, для контроля состояния организма при проведении физиотерапевтических процедур, для контроля над нагрузкой при занятиях спортом и в других случаях. При регистрации перегрузки организма прибор сигнализирует об этом как световыми, так и звуковыми сигналами.

Прибор сохраняет во встроенной памяти данные о проведенном исследовании. Продолжительность записи данных – до 4 суток. Эти данные могут быть переданы на стационарный ПК, ноутбук, коммуникатор или мобильный телефон через встроенный в монитор инфракрасный порт, работающий по стандарту «Irda». Разработана модификация прибора с беспроводным радио-интерфейсом «Bluetooth».

Создано программное обеспечение для ПК, КПК, ноутбука, мобильного телефона, обеспечивающее визуализацию и передачу данных, зарегистрированных прибором. Наличие интерфейса передачи данных на мобильные устройства связи позволяет организовать удалённый контроль регистрируемых параметров состояния организма человека.

Аппарат может также передавать на внешние устройства регистрируемую электрокардиограмму в реальном времени. Все функции прибора устанавливаются с помощью 3-х кнопок управления. Внешний вид прибора показан на рис. 1. Основные технические характеристики прибора приведены в табл. 1.



Рис. 1. Внешний вид прибора

Таблица 1

Основные технические характеристики прибора

Частота дискретизации, Гц	1000
Входное сопротивление, ГОм	1
Регистрация функционального состояния организма (ПАРС)	есть
Регистрация электрокардиограммы (ЭКГ)	есть
Звуковая и световая сигнализация тревожного состояния	есть
Интерфейс обмена данными с внешними устройствами	IRDA, Bluetooth
Продолжительность непрерывной работы до замены батарей	300 часов
Часы реального времени	есть
Регистрация частоты сердечных сокращений (ЧСС)	есть
Габаритные размеры, мм	50x40x20
Вес, г	50

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попечительев Е.П. Системный анализ медико-биологических исследований. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006. – 300 с.
2. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. – М.: Медицина, 1979. – 146 с.
3. Гордейчук А.П. Система "активной земли" в электрокардиографах. – Петербургский журнал электроники. 2005. – №2. – С. 37.
4. Гордейчук А.П. Система съема биопотенциалов с автоматической компенсацией асимметрии импедансов и недифференциальным усилителем // Сборник докладов Международной конференции "Метромед-2007". 2007. – С. 63.
5. Гордейчук А.П. Усилитель биоэлектрических сигналов с недифференциальным входом // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ". Сер. "Биотехнические системы в медицине и экологии". 2005. Вып. 2. – С. 105–109.