

Раздел II. Аппаратные и программные средства функциональной диагностики и терапии

УДК 615.47:616-072.7

Л.И. Калакутский, Е.В. Молчков, П.И. Бахтинов

ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФ ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Разработан компьютерный фотоплетизмограф для осуществления длительного мониторинга показателей variability пульсового ритма. Это позволяет оценить активность регуляции ритма сердца со стороны вегетативной нервной системы и состояние организма в целом. Для получения показателей variability ритма сердца используется измерение длительностей межпульсовых интервалов артериального пульса в месте расположения датчика прибора. Реализован как режим мониторинга, так и анализ фрагментов фиксированной длительности (5 минут). Вычисляются статистические, геометрические и спектральные показатели variability ритма сердца. Прибор подключается к компьютеру через интерфейс USB.

Фотоплетизмография; ритм сердца; мониторинг.

L.I. Kalakutskiy, E.V. Molchkov, P.I. Bakhtinov

PHOTOPLETHYSMOGRAPHY FOR CLINICAL HEART RATE MONITORING

A computer photoplethysmograph for continuous monitoring of heart rate variability was developed. It allows to estimate the influence of the autonomic nervous system on the heart rate regulation and the state of the organism as a whole. Measurement of intervals duration between arterial pulse at the location of the sensor device is used to get the heart rate variability indices. Monitoring mode as well as analysis of fragments of a fixed duration (5 minute) are implemented. We calculate the statistical, geometric, and spectral measurements of heart rate variability. The device is connected to the computer via USB.

Photoplethysmography; heart rate; monitoring.

Использование метода фотоплетизмографии для исследования периферического кровотока в построении приборов клинического мониторинга получило в последние годы новое развитие благодаря появлению новой элементной базы электроники. Это, в первую очередь, производство недорогих излучающих светодиодов красного и инфракрасного диапазонов и чувствительных фотоприемников. Мощность излучения светодиодов оказалась достаточной для регистрации фотоплетизмографического сигнала с высоким соотношением сигнал/шум во всем диапазоне оптической плотности тканей, содержащих пульсирующий сосуд, как при построении датчиков регистрирующих излучение, проходящее через исследуемый участок тканей, например, ногтевую фалангу пальца руки, так и регистрирующих отраженное излучение [1].

Обработка фотоплетизмографического сигнала с последующим измерением межпульсовых интервалов позволяет осуществить длительный мониторинг изменения variability сердечного ритма (BCP), показатели которого позволяют оценить активность автономной регуляции со стороны нервной системы и состояние организма в целом [2].

Разработан компьютерный фотоплетизмограф "ЭЛДАР", реализующий указанную методику обработки фотоплетизмографического сигнала.

Структурная схема прибора приведена на рис. 2. Излучатель датчика содержит излучающий светодиод красного диапазона, питаемый импульсами тока, которые формируются в устройстве синхронизации. Прошедшее через биологические ткани излучение поступает на фотоприемник датчика. Полученный фототок усиливается предварительным усилителем и поступает на фильтр верхних частот, и затем на регулируемый усилитель, коэффициент усиления которого устанавливается микропроцессорным устройством. С выхода регулируемого усилителя сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь микроконтроллера. После преобразования в цифровую форму данные передаются на контроллер USB через оптронную развязку.

Питание прибора осуществляется от интерфейса USB через гальванически развязанный преобразователь, формирующий необходимые для работы прибора напряжения.

Через интерфейс USB данные передаются в компьютер.

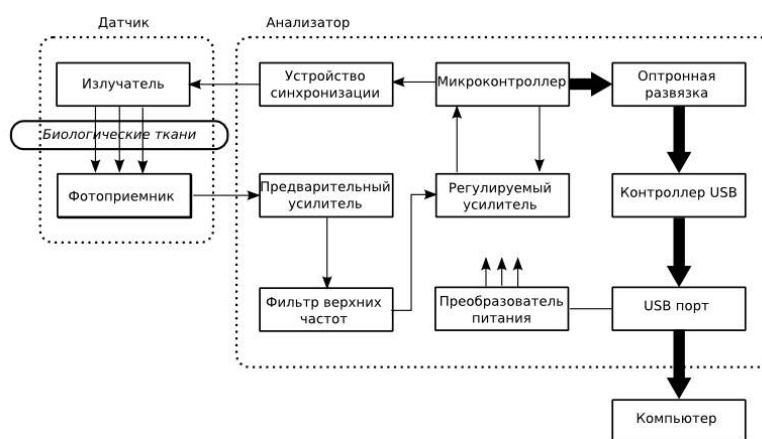


Рис. 1. Структурная схема прибора

Датчик пальцевого типа (рис. 3) представляет собой зажим, состоящий из двух элементов 1 и 2, скрепленных осью 3, фиксируемый на пальце пружиной 4. В элементе 1 установлен излучатель, а в элементе 2 – фотоприемник, снабженный выпуклой линзой. Датчик подключается к прибору с помощью кабеля 6 с разъемом 5.

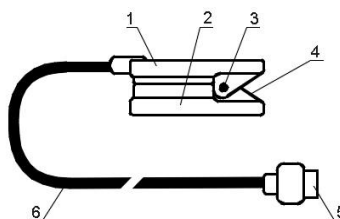


Рис. 2. Датчик прибора

Анализ ВСР во временной области (получение статистических оценок выборки NN-интервалов и диагностических показателей вычисляемых на этой основе) производится для выборки фиксированного объема, а также методом скользящей выборки, что может быть использовано, например, для целей слежения за изменением показателей ВСР в реальном времени.



Рис. 3. Общий вид прибора

В результате анализа ВСР вычисляются следующие показатели.

Статистические оценки выборки NN-интервалов [3]:

Mo, мс – мода распределения длительностей NN-интервалов, наиболее часто встречаемое значение длительности среди NN-интервалов в анализируемой выборке.

AMo, ед, (%) – амплитуда моды, число (доля) NN-интервалов в анализируемой выборке, соответствующая значению моды.

DX, мс – вариационный размах, разность между длительностью наибольшего и наименьшего NN-интервалов в анализируемой выборке.

Диагностические показатели:

SDNN (Standart deviation of all NN intervals), мс – стандартное отклонение длительностей всех NN интервалов в анализируемой выборке (квадратный корень из дисперсии);

интервалов с наиболее часто встречающейся длительностью (амплитуда моды).

HR (Heat rate), (уд/сек) – частота сердечных сокращений, вычисленная по среднему значению NN-интервалов в анализируемой выборке;

СИМ – значение индекса ВСР вычисляемого по формуле:

$$\text{СИМ} = 4 * \text{AMo} / \text{N20} \%,$$

где **N20 %**, ед. – число интервалов группирования гистограммы, содержащих количество NN-интервалов, превышающих уровень 20 % от значения **AMo**.

ПАР – значение индекса ВСР характеризующего степень отклонения распределения NN-интервалов от нормального закона распределения. Чем больше отклонений от нормального распределения, характеризующегося плавным убыванием количества NN-интервалов влево и вправо относительно моды, тем больше значение ПАР.

Анализ ВСР в частотной области (спектральный анализ) производится для фиксированной по длительности «короткой» (5 минут) выборки данных [4].

Спектральные диагностические показатели:

VLF, мс² – спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне сверхнизких частот (< 0,04 Гц);

LF, мс² – спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне низких частот (0,04 ... 0,15 Гц);

HF, мс² – спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне высоких частот (0,15 ... 0,4 Гц);

Total, мс² – общая спектральная мощность колебаний ритма сердца;

LFnorm = 100LF/(Total – VLF), % – нормализованная спектральная мощность низких частот;

HFnorm = 100HF/(Total – VLF), % – нормализованная спектральная мощность высоких частот;

LF/HF, отношение низкочастотной к высокочастотной составляющей мощности колебаний ритма сердца.

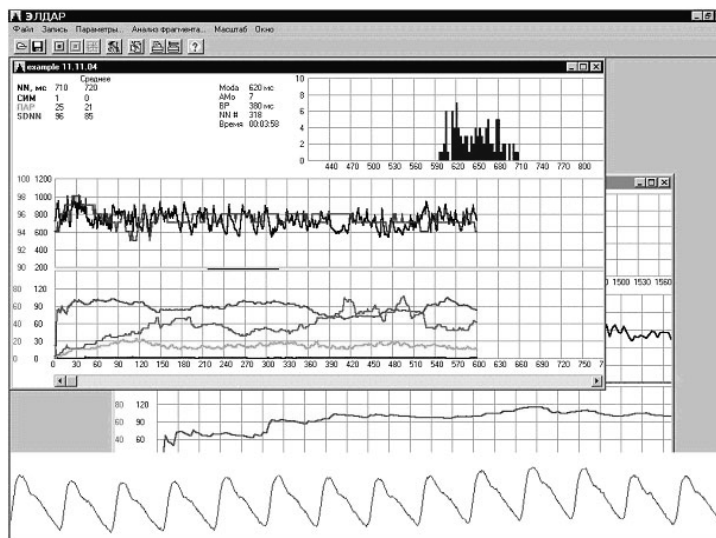


Рис. 4. Окно мониторинга ВСР

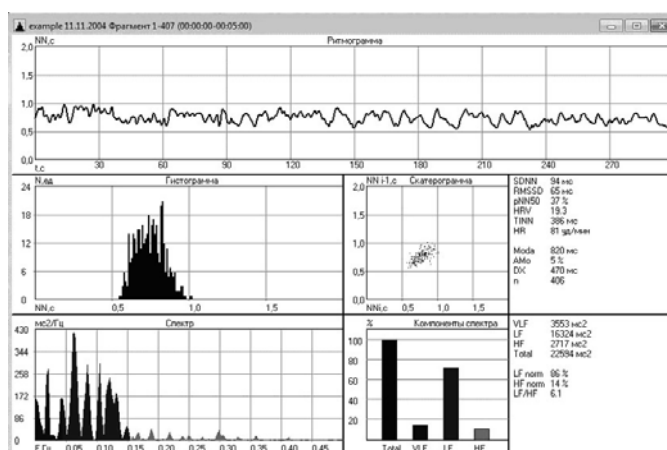


Рис. 5. Окно частотного анализа ВСР

При анализе ВСР во временной области на экране компьютера отображается: **ритмограмма** – график зависимости длительности NN-интервала от номера NN-интервала;

графики зависимости величины показателей ВСР от номера NN-интервала; **гистограмма** распределения NN-интервалов – ступенчатая функция, представляющая собой зависимость числа NN-интервалов, попадающих в соответствующие интервалы группирования гистограммы, на которые разбивается весь диапазон длительностей NN-интервалов.

При анализе ВСР в частотной области на экране компьютера дополнительно отображается:

скатерограмма – точечное изображение зависимости длительности последующего NN-интервала от предыдущего в выборке данных;

частотный спектр сердечного ритма с выделением цветом областей VLF, LF, HF;

диаграмма, показывающая относительное соотношение величин компонентов VLF, LF, HF.

Анализ и отображение данных производится в режиме реального времени с сохранением массивов зарегистрированных значений длительностей NN-интервалов для отсроченного анализа.

Прибор успешно используется в практике анестезиологии, реаниматологии для слежения за состоянием больных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Баевский Р.М., Иванов Г.Г.* Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. – М.: Медицина, 2000. – 295 с.
2. *Баевский Р.М., Берсенева А.П.* Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. – М.: Медицина, 1997. – 265 с.
3. Task Force of the European Society of Cardiology and North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // *Circulation*. – 1996. – Vol. 93 (5). – P. 1043-1065.
4. *Калакутский Л.И., Манелис Э.С.* Аппаратура клинического мониторинга для отделений анестезиологии и реанимации // *Тюменский мед. журн.* – 2005. – № 1. – С. 3-5.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., проф. В.Е. Высоцкий.

Калакутский Лев Иванович – ГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»; e-mail: bme@ssau.ru; 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34; тел.: 88462674549; кафедра радиотехника и МДС; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Молчков Евгений Васильевич – e-mail: biotech@ssau.ru; 443086 г. Самара, ул. Лукачева, 45; тел.: 88462674474; кафедра радиотехники и МДС; ведущий инженер.

Бахтинов Павел Иванович – кафедра радиотехники и МДС; ведущий инженер.

Kalakutskiy Lev Ivanovich – Samara State Aerospace University (National Research University); e-mail: bme@ssau.ru, 34, Moscow highway, Samara, 443086, phone: +78462674549; the department of radio engineering and MDS; head of the department; dr. of eng. sc.; professor.

Molchkov Evgeniy Vasilyevich – e-mail: biotech@ssau.ru, 45, Lukacheva street, Samara, 443086, Russia; phone: +78462674474; the department of radio engineering and MDS; leading engineer.

Bakhtinov Pavel Ivanovich – the department of radio engineering and MDS; leading engineer.

УДК 616.83/85

Е.А. Макаренкова, М.В. Малахов

ВЛИЯНИЕ ГИПЕРВЕНТИЛЯЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ СТАБИЛОГРАФИИ В ТЕСТАХ СО ЗРИТЕЛЬНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Изучено влияние гипервентиляции на способность контролировать положение центра давления в стабิโลграфическом тесте со зрительной обратной связью. На стабילוграфической платформе «Стабилан-01 ОКБ «Ритм» определялись классические стабิโลметрические параметры, а также спектральные показатели колебаний центра давления до, во время и после периода гипервентиляции (n=39). Повышение всех стабิโลметрических параметров при гипервентиляции отражало снижение устойчивости вертикальной позы и было обусловлено дыхательными движениями, а также метаболическими сдвигами вследствие гипервентиляции. При гипервентиляции также отмечалось увеличение высоко-