

Включение тревожной звуковой сигнализации обычно осуществляется при снижении сатурации до «опасных» пороговых для пациента величин, свидетельствующих о возможности возникновения угрожающих гипоксических состояний. Пороговое значение сатурации устанавливается в приборе вручную до начала мониторинга. Однако эпизоды снижения сатурации могут наступать по причинам артефактов датчика, движения пациента, кратковременного уменьшения перфузии, которые не являются свидетельством угрожающих состояний пациента. Ложная тревога при частом включении сигнализации во время многочасового мониторинга ослабляет внимание наблюдателя к данной функции прибора, что обуславливает возрастание риска пропуска «опасных» состояний пациента и снижение функциональной безопасности системы мониторинга.

В соответствии с Байесовской оценкой, снижение вероятности ложной тревоги возможно при совместной оценке нескольких событий, обуславливающих тревогу и являющихся независимыми. Таким образом, алгоритм тревожной сигнализации должен включать процедуры совместной оценки нескольких взаимно независимых показателей, свидетельствующих об «опасном» состоянии пациента. Для этой цели в пульсоксиметр можно ввести дополнительную обработку пульсового сигнала с целью определения показателей variability сердечного ритма [3]. Тогда при построении алгоритма тревожной сигнализации можно использовать совместную оценку снижения сатурации до гипоксических значений и снижения показателя variability сердечного ритма, являющегося независимым предиктором напряжения симпатической регуляции. Как показывает анализ, вероятность ложного срабатывания тревоги при пороговом алгоритме включения сигнализации при использовании одного показателя приводит к уровню недопустимого риска, а при построении алгоритма включения сигнализации по двум показателям, показатель остаточного риска принимает значение, свидетельствующее о принадлежности риска к уровню минимального практически допустимого риска.

Таким образом, предложенная методика оценки функциональной безопасности систем мониторинга позволяет на этапе управления риском определить остаточный риск и провести идентификацию области остаточного риска для повышения функциональной безопасности системы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Visser M. and Wieringa P.*, Human Error Probability Based Process Unit Selection. IEEE Trans. on systems, man, cybernetics 2001. – Vol. 31, – №.1. – P.1–15.
2. Функциональная безопасность. Простое руководство по применению стандарта МЭК 61508 и связанных с ним стандартов / Смит Дэвид Дж., Симпсон Кеннет Дж. Л. – М.: Изд. дом «Технологии», 2004. – 208 с.
3. *Калакутский Л.И., Манелис Э.С.* Аппаратура клинического мониторинга для отделений анестезиологии и реанимации // Тюменский мед. журн. – 2005. – №1. – С.3–5.

УДК 615.4: 612.13

**Л.И. Калакутский, П.А. Лебедев, М.В. Комарова**

#### **МЕТОДИКА АНАЛИЗА КОНТУРА ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ В ДИАГНОСТИКЕ ФУНКЦИИ СОСУДИСТОГО ЭНДОТЕЛИЯ**

Сосудистый эндотелий представлен монослоем клеток, выполняющих барьерную функцию между кровью и сосудистой стенкой. Эндотелий сосудов непрерывно вырабатывает биологически активные вещества, участвующие в регуляции тонуса сосудов, кле-

точной пролиферации, местном воспалении, а также гемостазе. Доказано, что эндотелий регулирует сосудистый тонус через освобождение сосудорасширяющих (NO, простациклин I<sub>2</sub>, фактор гиперполяризации эндотелия) и сосудосуживающих факторов (эндотелин, тромбоксан A<sub>2</sub>) и модулирует сократительную активность гладкомышечных клеток. Дисфункция эндотелия, в первую очередь нарушение баланса между вазоконстрикторными и вазодилаторными факторами, играет ключевую роль в прогрессировании ИБС и её осложнений. Факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний, такие, как артериальная гипертензия, пожилой возраст, курение, гиперхолестеринемия [1–4], оказывают повреждающее действие на функцию эндотелия сосудов.

Существуют различные подходы к диагностике функции сосудистого эндотелия. С одной стороны, это весьма дорогостоящие лабораторные методы определения метаболитов оксида азота и факторов сосудистого тонуса, секретируемых эндотелием. С другой стороны, это методы функциональной диагностики, такие, как ультразвуковые доплерографические, сфигмоманометрические и фотоплетизмографические методы.

Простым и эффективным способом диагностики функции эндотелия может быть регистрация и обработка объёмной пульсовой волны с помощью фотоплетизмографического (ФПГ) измерительного преобразователя, расположенного на ногтевой фаланге пальца руки обследуемого [5]. Обработка полученного сигнала осуществляется на ПЭВМ с помощью разработанного программного обеспечения, позволяющего проводить определение показателей ФПГ. Программа позволяет вручную «наводить» визиры на экране дисплея ПЭВМ, фиксирующие характерные точки ФПГ, что уменьшает ошибки определения диагностических показателей.

Контур объёмной пульсовой волны формируется в результате слияния двух пульсовых волн. Первый пик контура образуется за счёт систолической, прямой волны, имеющей амплитуду A<sub>1</sub>, формируемой объёмом крови в систолу, передающимся напрямую от левого желудочка к пальцам верхних конечностей. Второй пик образуется за счёт отражённой волны с амплитудой A<sub>2</sub>, которая возникает из-за отражения объема крови, передающегося по аорте и крупным магистральным артериям к нижним конечностям, и направляющегося обратно в восходящий отдел аорты и далее к пальцам верхних конечностей. Один из рассчитываемых показателей ФПГ – индекс отражения – получают как отношение амплитуд отражённой и прямой волны, выраженное в процентах.

Отражённая волна отстоит от прямой систолической на время отражения T, которое определяется прохождением пульсовой волны вниз и отражением её обратно. Время отражения зависит от скорости распространения пульсовой волны и расстояния, которое она должна пройти. Расстояние во многом определяется ростом обследуемого. Поэтому для характеристики распространения пульсовой волны рассчитывают показатель – индекс жесткости (ИЖ), как отношение роста обследуемого L (в метрах) ко времени отражения пульсовой волны T (в секундах).

$$\text{ИЖ} = L / T.$$

Более сильное и более раннее отражение систолической волны за счёт снижения эластичности сосудов, наблюдаемое при ИБС и других видах патологии сердечно-сосудистой системы, характеризуется более высоким индексом отражения и большим индексом жесткости.

В большинстве работ по изучению формы пульсовой волны [6,7] ограничиваются именно этими показателями. Однако информативность метода может быть значительно повышена при проведении пробы с ишемией верхней конечности. Параметры ФПГ регистрируют в покое, а затем после проведения пробы. За это время в эндотелии сосудов происходит синтез вазодилаторов и выброс их в кровоток, что проявляется снижением индекса отражения. Таким образом, рассчитывают показатель функции эндотелия (ПФЭ) – выраженное в процентах от исходного уровня снижение индекса отражения:

$$\text{ПФЭ} = (\text{ИО}_{\text{покой}} - \text{ИО}_{\text{ишемия}}) \cdot 100 \% / \text{ИО}_{\text{покой}}$$

ПФЭ в норме составляет более 20 %. Метод позволяет оценить процессы сосудистого ремоделирования, а также сосудодвигательную функцию эндотелия.

Материалы и методы исследования: обследованы 43 мужчины (группа А), которые перенесли инфаркт миокарда без зубца Q, с давностью от одного до двух месяцев, в возрасте от 36 до 58 лет (средний возраст  $50,2 \pm 1,1$  лет), проходившие санаторный курс физической реабилитации. Все пациенты получали бета-адреноблокаторы, ингибиторы АПФ, дезагреганты в средних терапевтических дозах, динамическую лечебную гимнастику и дозированную ходьбу. Обследование проводили до и после санаторного курса физической реабилитации продолжительностью 21 день. Группа В (n=36) представлена больными ИБС с нестабильной стенокардией и постинфарктным кардиосклерозом. Этим больным физическую реабилитацию не проводили. Контрольную группу (К) составляли 26 практически здоровых мужчин. Статистический анализ данных проведён в среде пакета SPSS 11.5 с помощью дисперсионного анализа и парного критерия Вилкоксона.

Характеристика показателей объёмной пульсовой волны в изученных группах до начала лечения представлена в табл. 1. Видны значительные различия в показателях у здоровых мужчин и больных групп А и Б. Причём статистически значимые отличия получены прежде всего по относительным показателям ФПГ. Исходные значения амплитуды прямой волны в рассматриваемых группах не различаются, а значения амплитуды отражённой волны различаются незначительно.

Таблица 1

Показатели контура объёмной пульсовой волны у различных групп обследуемых

Показатель ФПГ	Контроль (К), n=26 M±m	Группа А, n=43, M±m	Группа Б, n=36, M±m	p
Прямая волна A1	131,88±5,25	128,11±6,37	134,14±5,07	0,811
Отражённая волна A2	72,87±3,81	84,01±4,80	87,90±3,83**	0,022
Индекс отражения IO	54,86±1,23	64,26±0,67***	65,04±0,78***	<0,001
Прямая волна после ишемии A1 <sub>1</sub>	120,20±3,83	132,70±5,49	134,51±4,83	0,076
Отражённая волна после ишемии A2 <sub>1</sub>	53,98±2,39	85,55±4,21***	88,64±3,58***	<0,001
Индекс отражения после ишемии IO <sub>1</sub>	44,73±1,12	64,02±0,70***	65,62±0,86***	<0,001
ПФЭ	18,51±0,73	0,37±0,39***	-0,88±0,48***	<0,001
Время отражения пульсовой волны T	177,62±4,67	159,81±3,43***	136,08±2,69*** ^^^	<0,001
ИЖ	10,08±0,26	11,01±0,21**	12,85±0,25*** ^^^	<0,001

**Примечание.** Уровень значимости отличий по группам (p) приведён по данным дисперсионного анализа при сравнении 3-х групп. Значимость отличий групп А и Б с контролем помечены: \*\* – p<0,01, \*\*\* – p<0,001. Значимость отличий групп А и Б между собой помечены: ^^ – p<0,001.

Эффективность проведения ишемической пробы в диагностических целях проиллюстрирована на рис. 1. Индекс отражения хоть статистически значимо и различается у обследованных мужчин (54,86±1,23 % в контроле против 64,26±0,67 % и 65,04±0,78 % в группах

А и Б, соответственно,  $p < 0,001$ ), имеет значительную зону перекрытия: четверть здоровых обследованных имеют значения свыше 60 % – как у больных и наоборот, четверть больных из групп А и Б имеют значения ниже 61% – как у здоровых людей. При проведении ишемической пробы индекс отражения здоровых и больных обследованных изменяется по-разному: если в контрольной группе индекс отражения значительно падает, то у пациентов групп А и Б он практически не меняется. Рассчитанный на основании этих данных ПФЭ не имеет перекрывающихся значений. Минимальное значение в контрольной группе – 10,6 %, а максимальное среди больных – 5 %.

У пациентов с постинфарктным кардиосклерозом и нестабильной стенокардией отмечен более высокий ИЖ ( $12,85 \pm 0,25$  м/с) по сравнению с пациентами с инфарктом миокарда ( $11,01 \pm 0,21$  м/с,  $p < 0,001$ ) и группой контроля ( $10,08 \pm 0,26$  м/с,  $p < 0,001$ ).

В результате проведённого лечения в группе А отмечено снижение индекса отражения с  $64,02 \pm 0,70$  % до  $59,04 \pm 0,69$  % ( $p < 0,001$ ) и повышение ПФЭ с  $0,37 \pm 0,39$  % до  $2,85 \pm 0,28$  % ( $p < 0,001$ ). В группе Б выявлено повышение ПФЭ с  $-0,88 \pm 0,48$  % до  $1,15 \pm 0,35$  % ( $p < 0,001$ ). Индекс жёсткости остался на прежнем уровне в обеих группах.

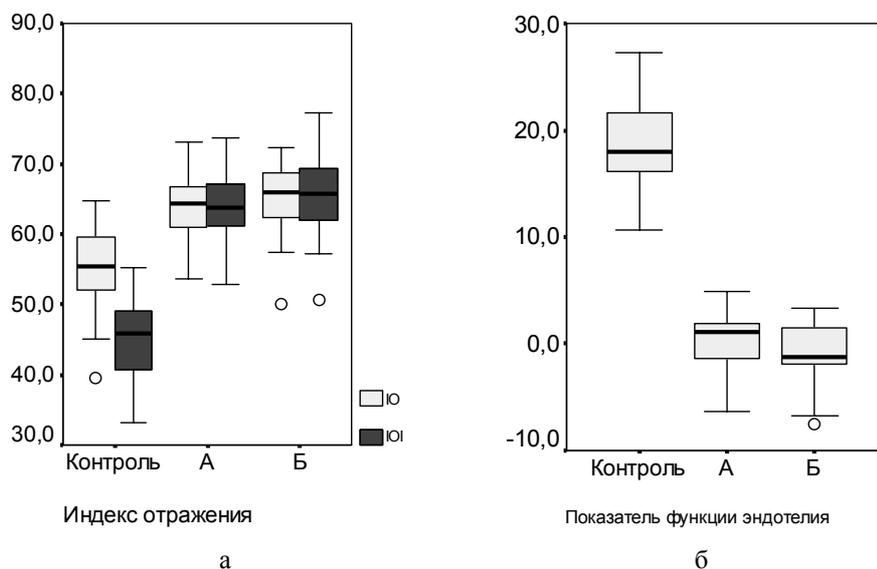


Рис. 1. Проведение ишемической пробы: а – индекс отражения до и после проведения ишемической пробы (светлая и тёмная штриховка, соответственно) в обследованных группах; б – показатель функции эндотелия в обследованных группах. Обозначения: горизонтальная линия в прямоугольнике – медиана; верхние и нижние границы прямоугольников – соответствующие квартили; ответвления (усы) – минимальные и максимальные значения, кроме выбросов (кружки).

**Вывод.** Рассмотренные показатели могут применяться в диагностике и мониторинговании постинфарктных больных для контроля реабилитационных мероприятий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Celermajer D.S., Sorensen K.E., Spiegelhalter D.J. et al. Aging is associated with endothelial dysfunction in healthy men years before the age-related decline in women // J Am Coll Cardiol. – 1994. – Vol. 24. – P. 471–476.
2. Perticone F., Ceravolo R., Pujia A. et al. Prognostic significance of endothelial dysfunction in

- hypertensive patients // *Circulation*. – 2001. – Vol. 104. – P. 191–196.
3. *Celermajer D.S., Sorensen K.E., Georgakopoulos D.* Cigarette smoking is associated with dose-related and potentially reversible impairment of endothelium-dependent dilation in healthy young adults // *Circulation*. – 1993. – Vol. 88. – P. 2149–2155.
  4. *Chowienczyk P.J., Watts G.F., Cockcroft J.R., Ritter J.M.* Impaired endothelium-dependent vasodilatation of forearm resistance vessels in hypercholesterolaemia // *Lancet*. – 1992. – Vol. 340. – P. 1430–1432.
  5. *Калакутский Л.И., Лебедев П.А., Горлов А.П.* Измерительный преобразователь артериальных пульсаций для систем оценки реактивности сосудов // Актуальные проблемы радиоэлектроники. – Самара. – 2003. – С.105–107
  6. *Takazawa K., Tanaka N., Fujita M.* et al. Assessment of vasoactive agents and vascular aging by the second derivative of photoplethysmogram waveform // *Hypertension*. – 1998. – Vol. 32. – P. 365–370.
  7. *Hashimoto J, Chonan K, Aoki Y.* et al. Pulse wave velocity and the second derivative of the finger photoplethysmogram in treated hypertensive patients: their relationship and associating factors // *J Hypertens*. – 2002. – № 12. – P. 2341–2343.

УДК 621.317.33

**Л.И. Калакутский, С.А. Акулов**

### **БИОИМПЕДАНСНЫЙ МЕТОД ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ УРОВНЯ ГЕМАТОКРИТА КРОВИ**

Измерение концентрации форменных элементов крови играет важную роль при контроле состояния организма при анемических состояниях и травматических кровопотерях, а также при мониторинге состояния в условиях палат реанимации и интенсивной терапии. Основным показателем степени кровопотери организма является уровень гематокрита, определяемый как отношение объёма форменных элементов (нерастворимых клеток крови) к общему объёму крови. Гематокрит измеряется в относительных единицах или процентах. У взрослых здоровых людей гематокрит колеблется в пределах 36–54 % (у мужчин – 40–54 %, у женщин – 36–47 %), в то время как у новорождённых он может достигать 62 %, а при критических состояниях – до 20 % [1].

В настоящее время наиболее распространены следующие методы определения уровня гематокрита [2]:

- Метод центрифугирования.
- Метод полного подсчёта всех клеток крови в заданном объёме.
- Вычисление уровня гематокрита по концентрации гемоглобина.
- Определение уровня гематокрита на основании измерения проводимости крови.

Однако использование данных методов для мониторинга состояния пациентов затруднено, в основном из-за большого времени анализа.

Предложен метод определения уровня гематокрита, основанный на биоимпедансных исследованиях пробы крови. При снижении уровня гематокрита отмечается изменение составляющих импеданса крови и сдвиг частотной характеристики импеданса в область более высоких частот.

Для проведения экспресс-оценки характеристик биоимпеданса используется метод анализа переходной функции импеданса [3]. В рассматриваемом случае в качестве переходной функции импеданса рассматривается реакция исследуемого объекта на тестовое воздействие. В случае определения частотной характеристики импеданса в качестве тестового