

УДК 618.2-07:004.9

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИ И ПЛОДА

Толмачёв И.В., Бразовский К.С., Цверова А.С., Рипенко В.С.

*Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск**Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

РЕЗЮМЕ

В настоящее время важной задачей является охрана здоровья матери и ребенка. Перинатальные патологии, в частности родовые травмы, антенатальную мертворождаемость и перинатальную смерть доношенных новорожденных, можно было бы предупредить при своевременном выявлении патологий в течение беременности с помощью современной диагностической аппаратуры.

На данный момент в мировой практике не существует комплексов, позволяющих следить за состоянием плода без риска для его здоровья. Таким образом, основная цель данной работы – разработать программно-аппаратный комплекс для оценки функционального состояния матери и плода по результатам анализа сигналов, регистрируемых с абдоминальных электродов.

Задачи исследования:

- 1) сформулировать требования к системе неинвазивного мониторинга и оценки функционального состояния матери и плода;
- 2) разработать алгоритмы и создать программные средства для системы мониторинга и оценки функционального состояния матери и плода;
- 3) определить функциональное состояние плода на 32–33-й нед у женщин с неосложненной беременностью и у женщин с фетоплацентарной недостаточностью в стадии компенсации и субкомпенсации.

Концепция системы основывается на распознавании и анализе сердечного ритма плода, выделенного из смеси сигналов, полученных с абдоминальных электродов при исследовании электрокардиограммы матери. Методика пассивна для организма, поэтому время исследования неограниченно.

Устройство для одновременной регистрации фетальной и материнской электрокардиограмм представляет собой высокочувствительный биоусилитель с малым уровнем собственных шумов, высоким входным сопротивлением и подавлением синфазных помех более 80 Дб. Цифровая обработка сигнала распределена между микроконтроллером модуля регистрации и персональным компьютером. Первичная обработка осуществляется в микроконтроллере и заключается в получении сигнала от аналого-цифрового преобразователя на повышенной частоте дискретизации, цифровой фильтрации, децимации и упаковке сигнала.

При помощи разработанного комплекса было проведено двухэтапное исследование. На первом этапе оценивались ритмические характеристики кардиоинтервалограммы плода, т.е. временные промежутки сокращения сердца плода и характер распределения этих интервалов во времени. Второй этап исследований проводился с целью поиска дополнительных критериев оценки функционального состояния плода при фетоплацентарной недостаточности у беременных с гиперандрогенией в третьем триместре.

В результате работы было определено, что параметры структуры сердечного ритма (M_0 , dX , AM_0 , IN , $ЧСС$) на сроке беременности 32–35 нед позволяют оценить степень риска возникновения функциональных нарушений и развития гипоксии плода с чувствительностью $Se = 80\%$ и специфичностью $Sp = 73\%$.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гипоксия плода, сердечный ритм, электрокардиограмма матери, кардиоинтервалограмма плода, диагностика функционального состояния.

✉ Толмачёв Иван Владиславович, тел. 8-909-541-9329; e-mail: ivantolm@mail.ru

Введение

Для физиологического течения беременности требуется интеграция всех функций, в которых принимают участие нервные и гуморальные механизмы регуляции. Одной из важнейших регуляторных систем организма является вегетативная нервная система, она осуществляет координацию адаптационных процессов на системном, органном, тканевом и клеточном уровнях [1]. Сердечно-сосудистая система, являющаяся универсальным индикатором всех физиологических процессов, четко отражает состояние регуляторных механизмов и адаптивные возможности организма.

При оценке функционального состояния организма в норме и при патологии большое значение придается изучению вариативности синусового сердечного ритма. Согласно литературным данным, кардиоинтервалография является идеальным скрининг-методом, который может быть использован для оценки функционального состояния плода [2], что будет способствовать выявлению достоверных факторов перинатального риска у новорожденных при осложненной беременности. Данный метод позволит дифференцированно подходить к оценке состояния новорожденного в раннем неонатальном периоде, проводить своевременную коррекцию выявленных нарушений, что должно привести к улучшению перинатальных исходов [3].

Цель исследования – разработать программно-аппаратный комплекс для оценки функционального состояния матери и плода по результатам анализа сигналов, регистрируемых с абдоминальных электродов.

Задачи исследования:

1) сформулировать требования к системе неинвазивного мониторинга и оценки функционального состояния матери и плода;

2) разработать алгоритмы и создать программные средства для системы мониторинга и оценки функционального состояния матери и плода;

3) определить функциональное состояние плода на 32–33-й нед у женщин с неосложненной беременностью и у женщин с фетоплацентарной недостаточностью (ФПН) в стадии компенсации и субкомпенсации.

Материал и методы

Концепция системы основывается на распознавании и анализе сердечного ритма плода, выделенного из смеси сигналов, полученных с абдоминальных электродов при исследовании электрокардиограммы матери. Методика пассивна для организма, поэтому время исследования неограниченно.

Устройство для одновременной регистрации фетальной и материнской электрокардиограмм представляет собой высокочувствительный биоусилитель с малым уровнем собственных шумов, высоким входным сопротивлением и подавлением синфазных помех более 80 Дб. В основу конструкции положен оригинальный усилитель с автоматической коррекцией нуля. Конструктивно прибор оформлен в пластиковый корпус и представляет собой приставку к персональному компьютеру. Цифровая обработка сигнала распределена между микроконтроллером модуля регистрации и персональным компьютером. Первичная обработка осуществляется в микроконтроллере и заключается в получении сигнала от аналого-цифрового преобразователя на повышенной частоте дискретизации, цифровой фильтрации, децимации и упаковке сигнала для передачи в персональный компьютер. Программное приложение представляет собой информационную систему (рис. 1), которая включает в себя:

1) программу получения, накопления и обработки сигналов, полученных от системы «мать – плод», сопряженную с прибором. При получении сигнала с абдоминальных электродов проводится фильтрация помех и разделение смешанного сигнала на плодовую и материнскую составляющие;

2) базу данных (БД) для хранения информации о пациентках. Структура БД соответствует стандартной истории беременности и включает общие данные, анамнез, диагноз, исследования;

3) систему поддержки принятия решений, которая на основе набора параметров, записанных в БД, может прогнозировать состояние матери и плода.

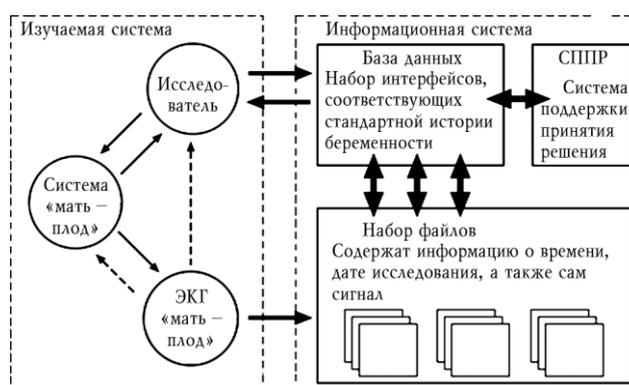


Рис. 1. Функциональная схема программно-аппаратного комплекса для оценки функционального состояния матери и плода

Результаты

При помощи разработанного комплекса было проведено двухэтапное исследование. На первом этапе оценивались ритмические характеристики кардиоин-

тервалограммы плода, т.е. временные промежутки сокращения сердца плода и характер распределения этих интервалов во времени. Применение показателей вариационной пульсометрии для оценки функционального состояния вегетативной нервной системы существенно осложняется отсутствием четко сформулированных формальных критериев условной «нормы» и возможных отклонений от нее. Причина кроется в высокой сложности и взаимозависимости статистических параметров сердечного ритма, а также в трудности однозначной физиологической интерпретации наблюдаемых изменений. Существует несколько подходов к формализации процесса оценки функционального состояния. В данной работе мы использовали простой классификатор на основе линейной дискриминантной функции, который позволяет выделять два основных функциональных состояния: «нет отклонений» и «есть отклонения». Для построения правила принятия решения (классификатора) были использованы показатели сердечного ритма плода без выявленных референтным методом (кардиоэлектрокардиография (КТГ)) отклонений от функционального состояния и такие же показатели, но при зафиксированных изменениях функционального состояния плода.

Первая группа включала 35 беременных женщин с нормальным протеканием беременности без нарушений функционального состояния плода по показаниям КТГ. Во вторую группу были отобраны 42 беременные женщины, у которых выявлялись различные отклонения в течении беременности и определено наличие отклонений функционального состояния плода по показаниям КТГ. У каждой женщины с абдоминальных электродов регистрировали сигнал электрической активности сердца плода, затем выделяли пять количественных признаков: моду сердечного ритма плода Mo , амплитуду моды сердечного ритма плода AMo , вариационный размах длительности кардиоинтервалов плода dX , индекс напряжения (ИН), частоту сердечного ритма (ЧСС) плода. С помощью метода линейного дискриминантного анализа разными алгоритмами (перцептрона и минимума геометрического расстояния) были получены следующие разделяющие функции:

$$D(x) = (-2) \cdot Mo + (-6) \cdot dX + (-1,31) \cdot AMo + (-0,21) \cdot ИН + 0,35 \cdot ЧСС + 177,88; \quad (1)$$

$$D(x) = 0,1 \cdot Mo + (-15,5) \cdot AMo + (-241,9) \cdot ИН + (-38,3) \cdot ЧСС + 60528,5. \quad (2)$$

Тестирование полученного классификатора на данных первого этапа исследований показало, что при наличии отклонений функционального состояния плода с вероятностью 96% решающее правило (1) это обнаружит. Вероятность выявления отклонений

функционального состояния плода для решающего правила (2) составляет 94%.

Особенностью полученных классификаторов является то, что они основаны на одновременном анализе нескольких показателей сердечного ритма плода (многомерный анализ), которые отражают различные аспекты функционирования вегетативной нервной системы и проявления адаптационных реакций. Решающие правила на основе статистических параметров сердечного ритма плода существенно меньше зависят от субъективных оценок при расшифровке кардиоэлектрокардиограмм, позволяют автоматизировать процесс первичной обработки данных, что в конечном итоге должно повысить достоверность оценки функционального состояния плода и надежно обнаруживать различные девиации.

Второй этап исследований проводился с целью поиска дополнительных критериев оценки функционального состояния плода при ФПН у беременных с гиперандрогенией в третьем триместре. Фетоплацентарная недостаточность в контексте данной работы рассматривается как одна из возможных моделей развития адаптационной реакции плода в ответ на изменение функционального состояния организма матери. Причины ФПН весьма разнообразны, но закономерности развития адаптационного процесса плода от этих причин практически не зависят. Мы рассмотрели протекание реакции адаптации плода в условиях гиперандрогении матери в третьем триместре беременности. Фетоплацентарная недостаточность в стадии компенсации приводит к существенно меньшему страданию плода от гипоксии по сравнению с ФПН в стадии субкомпенсации. Таким образом, стадию ФПН можно рассматривать как интенсивность фактора, вызывающего гипоксию.

На основе проведенных исследований для модели принятия решения была сформирована тестирующая выборка, содержащая две группы. Первая (контрольная) группа состояла из 30 беременных женщин с несложным протеканием беременности без нарушений функционального состояния плода. Вторая (основная) группа включала 41 беременную женщину, у которой выявлялось наличие ФПН в течение беременности и было определено наличие отклонений функционального состояния плода. Проверялись модели принятия решений, полученные на первом этапе исследований. Качество распознавания для (1) составило 74%, чувствительность $Se = 80\%$; специфичность $Sr = 67\%$. Для (2) качество распознавания – 62%, чувствительность $Se = 54\%$, специфичность $Sr = 73\%$ (рис. 2).

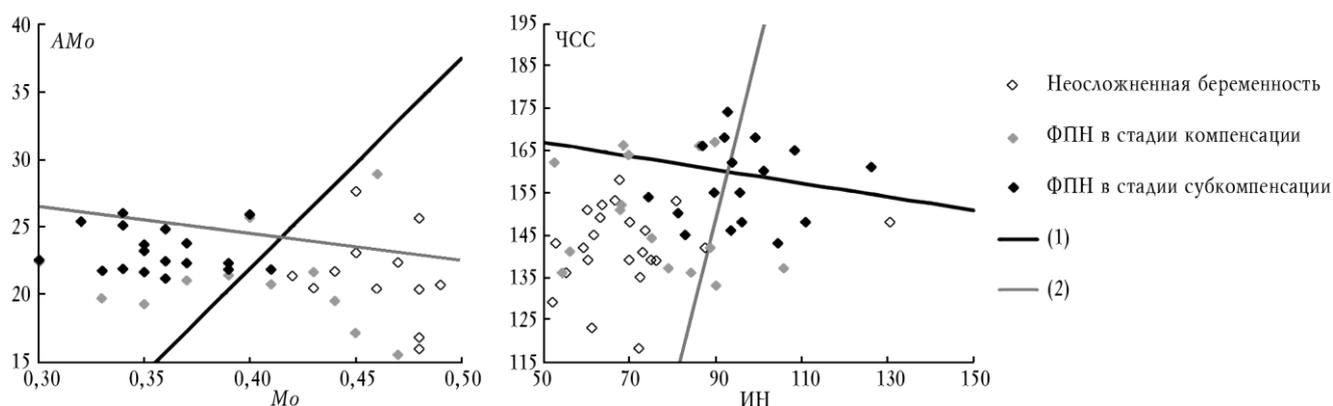


Рис. 2. Представление правил поддержки принятия решения на плоскости

Интерпретируя полученный результат, можно сказать, что дискриминантные функции могут быть использованы при принятии решения о функциональном состоянии плода. В частности, правило (1) лучше выявляет наличие, а правило (2) – отсутствие нарушений функционального состояния плода. Таким образом, нами использован комплекс решающих правил, позволяющий принимать более надежные решения о функциональном состоянии плода. Исходя из проверки качества распознавания на тестирующей выборке, был сделан вывод о том, что кардиоритмологические показатели отражают изменение функционального состояния плода.

Выводы

1. Сформулированы требования к системе неинвазивного мониторинга и оценки функционального состояния матери и плода, разработана и реализована аппаратная часть комплекса.

2. На основе анализа существующих методов оценки функционального состояния плода разработаны алгоритмы и созданы программные средства для регистрации и анализа сигналов, получаемых с абдоминальных электродов.

3. Параметры структуры сердечного ритма (Mo , dX , AMo , $ИН$, $ЧСС$) на 32–35-й нед беременности позволяют оценить степень риска возникновения функциональных нарушений и развития гипоксии плода с чувствительностью $Se = 80\%$ и специфичностью $Sr = 73\%$.

Литература

1. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Рябыкина Г.В. Современное состояние исследований по вариабельности сердечного ритма в России // Вестн. аритмологии. 1999. № 14. С. 71–75.
2. Кулаков В.И., Савельева Г.М., Стрижаков А.Н. Акушерство. М.: Медицина, 2006. 816 с.
3. Цой Е.Г., Игишева Л.Н., Галева А.Р. Вариабельность сердечного ритма в оценке адаптационных процессов у новорожденных // Педиатрия. 2003. № 1. С. 23–24.

Поступила в редакцию 26.01.2014 г.

Утверждена к печати 07.05.2014 г.

Толмачёв Иван Владиславович (✉) – канд. мед. наук, доцент кафедры медицинской и биологической кибернетики СибГМУ (г. Томск).

Бразовский Константин Станиславович – канд. мед. наук, доцент кафедры медицинской и биологической кибернетики СибГМУ (г. Томск).

Цверова Анастасия Сергеевна, Сибирский государственный медицинский университет (г. Томск).

Рипенко Василий Сергеевич

✉ Толмачёв Иван Владиславович, тел. 8-909-541-9329; e-mail: ivantolm@mail.ru

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR FUNCTIONAL STATE MONITORING OF MOTHER AND FETUS

Tolmachyov I.V., Brazovsky K.S., Tsverova A.S., Ripenko V.S.

Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

ABSTRACT

Text abstract Mother's and fetus's health are very important in present time. With timely diagnosis perinatal pathology, birth injuries, antenatal stillbirths and newborn perinatal death can be prevented. At the moment in the world there are no complexes which enable monitoring of the fetus without any risk to his health. So the main aim of this work is development of hardware and software system to assess the functional status of the mother and fetus by the analysis of the signals recorded from the abdominal electrodes.

Objectives:

- 1) to formulate the requirements to noninvasive monitoring system and functional state assessment of mother and fetus.
- 2) to develop algorithms and software for monitoring system and functional state assessment of mother and fetus.
- 3) to determine fetus functional state at 32–33 week in women with uncomplicated pregnancies and in women with placental insufficiency in the compensation stage and subcompensation.

The system concept is based on fetal heart rate recognition and analysis. Fetal heart rate has been extracted from the mixed signals received from abdominal electrodes. This technique is passive for a body so there is no research time limit. Device for simultaneous registration of fetal and maternal electrocardiogram is high sensitive bioamplifier with low level of intrinsic noises, high input resistance and suppression of inphase noises more than 80 DB. Digital processing of a signal is carried out by microcontroller of the registration module and personal computer. Preprocessing is carried out in microcontroller by receiving signals from the analog-to-digital converter on the increased sampling rate, digital filtering, decimation.

With the help of the developed complex two-stage study was conducted. At first stage the fetal cardiointervalogram (i.e. fetus heartbeat period and the distribution pattern of these intervals in time) was studied. Second stage was carried out to search additional criteria of fetal functional state assessment with placental insufficiency in the pregnant with hyperandrogenism in the third trimester.

As result, it was defined, that parameters of heart rate structure at 32–35 weeks of gestation allows to assess the risk of functional disorders and development of fetus hypoxia with sensitivity $Se = 80\%$ and specificity $Sp = 73\%$.

KEY WORDS: fetal hypoxia, heart rate, mother and fetal, fetal cardiointervalogram, diagnostics of functional state.

Bulletin of Siberian Medicine, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 113–117

References

1. Baevskiy R.M., Ivanov G.G., Ryabykina G.V. *Arrhythmology gazette*, 1999, no. 14, pp. 71–75 (in Russian).
2. Kulakov V.I., Savel'eva G.M., Strizhakov A.N. *Obstetrics*. Moscow, Medicine Publ., 2006. 816 p (in Russian).
3. Tsoy E.G., Igisheva L.N., Galeeva A.R. *Pediatrics*, 2003, no. 1, pp. 23–24 (in Russian).

Tolmachyov Ivan V. (✉), Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation.

Brazovsky Konstantin S., Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation.

Tsverova Anastasiya S., Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation.

Ripenko Vasily S.

✉ **Tolmachyov Ivan V.**, Ph. +7-909-541-9329; e-mail: ivantolm@mail.ru