

УДК 57.087

# Амбулаторный мониторинг ЭКГ плода

К. В. Наседкин, В. В. Федотенко, О. Г. Вьюницкий, В. И. Шульгин

Национальный Аэрокосмический Университет «ХАИ», Харьков, Украина

## Резюме

**Введение.** Большинство существующих диагностических технологий и систем предназначены для слежения за состоянием здоровья взрослых и детей, и практически отсутствуют технологии и системы, предназначенные для совместного мониторинга состояния матери и плода в ходе беременности. Хотя будущее здоровье человека, в том числе и затраты на его поддержание в течение всей жизни, закладываются еще в утробе матери.

**Цель работы.** Оценка возможности применения технологии амбулаторного (холтеровского) мониторинга электрокардиограммы плода (ХМ ЭКГП) для обнаружения и диагностики фетальных аритмий.

**Результаты исследований.** Описаны разработанные устройства для записи и беспроводной передачи наблюдаемых на абдоминальной поверхности беременной женщины сигналов, а также алгоритмы обработки этих сигналов с целью выделения и клинического анализа ЭКГП. Выполнен ретроспективный анализ записей ЭКГП и результатов УЗИ плода для оценки возможности диагностирования различных нарушений сердечного ритма.

**Выводы.** Неинвазивная электрокардиография плода (NI-FECG) предоставляет достоверную и наглядную информацию для обнаружения или уточнения диагноза фетальных аритмий (ФА). Основными преимуществами метода является дешевизна, высокая точность измерения показателей сердечной деятельности плода в сравнении с традиционным ультразвуком, возможность проведения обследования в амбулаторных условиях и дистанционной передачи результатов обследований в диагностический центр.

*Ключевые слова:* абдоминальная электрокардиография плода; NI-FECG; ЭКГП; холтеровский монитор; фетальные аритмии.

**Клін. інформат. і Телемед. 2017. Т.12. Вип.13. с.75–82. <https://doi.org/10.31071/kit2017.13.10>**

## 1. Введение

Подавляющее большинство существующих медицинских диагностических систем и систем мониторинга предназначены для слежения за состоянием здоровья взрослого человека, реже — детей, и практически отсутствуют технологии и системы, предназначенные для совместного мониторинга состояния матери и плода в ходе беременности. Хотя будущее здоровье человека, в том числе и затраты на его поддержание в течение всей жизни, закладываются еще в утробе матери. Поэтому, разработка новых методов и систем для наблюдения за здоровьем и внутриутробным развитием плода и матери, и в первую очередь — их сердечной деятельностью, является исключительно актуальной и важной проблемой.

Одним из методов инструментальной диагностики сердечной деятельности человека является холтеровский или амбулаторный мониторинг ЭКГ (ХМ). Метод обладает высокой диагностической ценностью, особенно при обнаружении кратковременных и редко возникающих нарушений сердечного ритма. За последние десятилетия метод холтеровского мониторинга прочно вошел в медицинскую практику и на сегодняшний день является неотъемлемой частью стандартного диагностического протокола в кардиологии. Однако, до настоящего времени холтеровский мониторинг использовался лишь для диагностики сердечных нарушений у взрослых и детей, тогда как подобные патологии часто возникают еще до рождения ребенка [1]. К таким патологиям, в частности, относятся фетальные сердечные аритмии (ФА), которые определяются как нерегулярный сердечный ритм плода или регулярный ритм с частотой сердечных сокращений плода (ЧССП), выходящей за пределы диапазона от 110 до 180 уд./мин. Такие нарушения являются довольно частыми (сопровождают до 12% беременностей) [2], и предполагают направление беременной на исследование для оценки

кардиологии плода. В число опасных для плода форм ФА также входит такое нарушение, как атриовентрикулярная блокада (AV-блокада) — поражение атриовентрикулярного соединения, наиболее слабого звена проводящей системы сердца. При AV-блокаде электрический импульс, стимулирующий сокращение сердца, или достигает желудочков с задержкой или проведение его частично или полностью блокируется. Такие врожденные пороки характеризуются высокой относительной смертностью [3], в частности, AV-блокада является основной причиной устойчивой фетальной брадикардии, приводящей к тяжелой форме гипоксии плода.

На сегодняшний день основным методом оценки нарушения сердечного ритма плода является ультразвуковая эхокардиография [2, 3], поскольку она позволяет отдельно наблюдать как предсердную, так и желудочковую активность. Однако, это достаточно дорогой и трудоемкий метод обследования, который может выполняться только в стационарных клинических условиях.

Гораздо более доступной является стандартная ультразвуковая кардиотокография (КТГ), но она не позволяет различать желудочковые и предсердные сокращения, а, кроме того, принципиально не может использоваться для анализа быстрых изменений и вариабельности частоты сердечных сокращений плода (ВСРП), поскольку принцип измерений частоты сердечных сокращений плода в кардиотокографии основан на ее усреднении на достаточно продолжительном временном интервале (около 4-х секунд).

Кроме традиционного ультразвука в настоящее время существует еще два альтернативных метода оценки электрофизиологических характеристик сердца плода: магнитокардиография (MCG) и неинвазивная абдоминальная электрокардиография плода (NI-FECG). Первый метод обеспечивает хорошее качество регистрируемого сигнала при исследовании

морфології PQRST и диагностике фетальной сердечной аритмии, однако требует для своего применения помещений с магнитной защитой и чрезвычайно дорогого оборудования, что ограничивает доступность метода [4]. Об магнитокардиографии говорят, что это «инструмент для богатых», поскольку стоимость оборудования для магнитокардиографии сравнима со стоимостью современного компьютерного томографа.

Неинвазивная фетальная электрокардиография (NI-FECG), или абдоминальная электрокардиография плода потенциально представляет собой перспективную альтернативу мониторинга плода, которая сочетает в себе все преимущества перечисленных выше методов. Метод позволяет выявлять как желудочковые, так и предсердные ритмы, обеспечивает возможность непрерывного анализа в случае пароксизмальных аритмий, обеспечивает недорогой анализ с возможностью удаленной передачи его результатов в диагностический центр (нет необходимости направлять беременных женщин на дорогостоящее обследование в удаленные клиники, оснащенные необходимым оборудованием).

Результаты большого числа исследований [5, 6, 7] показали возможность получения с использованием технологии NI-FECG точных значений частоты сердечных сокращений и ее вариабельности — основных показателей, используемых в акушерской практике для оценки функционального состояния плода. Однако на сегодняшний день мало что известно о клинической пригодности NI-FECG [5, 9]. С одной стороны, это связано с низким отношением сигнал/шум в наблюдаемой на абдоминальной поверхности смеси, в сравнении со случаем взрослой кардиографии, обусловленным небольшими размерами сердца плода и наличием различных плохо проводящих тканей между сердцем плода и измерительными электродами. С другой же это связано с гораздо менее полными клиническими представлениями о функционировании сердца плода и проявлениях его патологий, нежели в области кардиологии взрослых.

За последние несколько лет опубликовано довольно много работ [6, 8, 9], в которых обсуждается возможность построения на базе NI-FECG устройств холтеровского мониторинга ЭКГ плода. Появлением же на рынке медицинской техники первого NI-FECG монитора MONICA AN24 (Monicahealthcare, Великобритания), позволяющего регистрировать и анализировать многоканальные абдоминальные сигналы продолжительностью до 15 часов, а также сертификация по FDA в 2017 году фетального монитора MERIDIAN M110 (MindChild Medical, USA) открыло двери к широкому применению работающих на этом принципе систем в медицинской практике.

## 2. Цель работы

Отдавая должное перечисленным выше зарубежным достижениям, нужно, тем не менее сказать, что в Украине в течение последнего десятилетия также велись работы в этом направлении, и получены довольно значительные научные и практические результаты [10–15], позволяющие говорить о возможности создания на их базе ХМ ЭКГП. В настоящей работе обсуждаются результаты выполненных разработок, а также показана возможность диагностирования различных аномалий ритма плода с использованием созданного прототипа холтеровского монитора ЭКГ плода на основе NI-FECG.

В первой части работы кратко описаны разработанные устройства для записи и беспроводной передачи регистрируемых на абдоминальной поверхности беременной женщины сигналов, а также алгоритмы обработки этих сигналов с целью выделения и анализа ЭКГП. Во второй части приведены результаты исследования возможности диагностирования нарушения сердечного ритма плода с использованием продолжительных записей ЭКГ плода. Поскольку значительные

нарушения ритма плода в обычной акушерской практике встречаются достаточно редко, точнее — на них редко обращают внимание до рождения ребенка из-за отсутствия доступных инструментов, исследование проводилось путем ретроспективного анализа абдоминальных записей беременных женщин с признаками фетальной сердечной аритмии, и женщин без фетальных аритмий, которые выполнялись в различных клиниках Украины в период с 2014 по 2017 годы в ходе технических и клинических испытаний разрабатываемого прототипа холтеровского мониторинга. В тех случаях, когда наряду с записями сигналов ЭКГ плода имелись результаты УЗИ, диагностика на основе NI-FECG сравнивалась с эталонной ультразвуковой диагностикой. Исследование проводилось для оценки возможности и целесообразности обнаружения и диагностики аритмий плода с использованием холтеровской технологии ЭКГ плода.

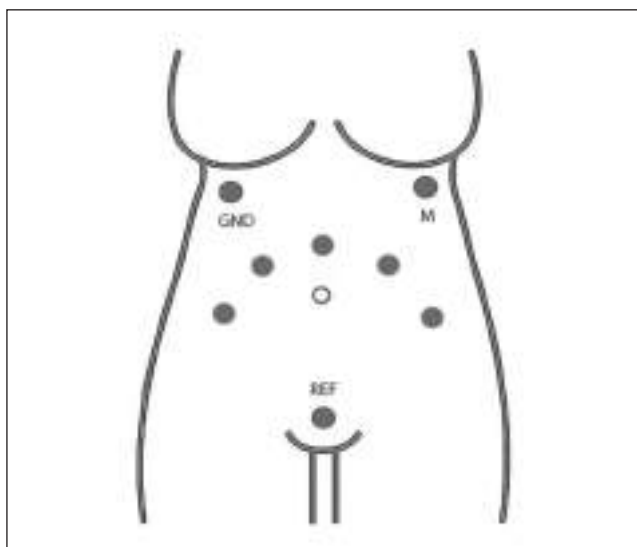
## 3. Материалы и методы

Особенностью технологии NI-FECG является очень малое соотношение сигнал/шум в наблюдаемой на абдоминальной поверхности смеси, в сравнении со случаем взрослой электрокардиографии. Это обусловлено небольшими размерами сердца плода, наличием различных плохо проводящих тканей между сердцем плода и абдоминальной поверхностью, на которой установлены электроды, а также, на поздних сроках беременности, высоким уровнем миографической маточной активности. Поэтому использование регистрирующих устройств со стандартными для «взрослой» электрокардиографии характеристиками, обычно дает плохие результаты (высокий уровень шума, неоптимальная для ЭКГ плода полоса пропускания, невысокая степень подавления сетевой помехи). В связи с этим, для выполнения экспериментальных исследований по NI-FECG, была разработана линейка усилителей биопотенциалов с беспроводной передачей данных (Bluetooth) и существенно более высокими шумовыми характеристиками, а также программа выделения сигнала ЭКГ плода из абдоминальной смеси и его анализа.

### 3.1. Техника неинвазивной электрокардиографии плода

Многоканальный абдоминальный сигнал для проведения исследований регистрировался с использованием разработанных специально для этих целей маломощных усилителей биопотенциалов (УБП). Регистрация сигнала на абдоминальной поверхности беременной женщины выполнялась в четырех, пяти, или шести униполярных отведениях (в зависимости от варианта исполнения УБП). Положительные электроды (стандартно — 5 электродов) устанавливались симметрично относительно вертикальной оси живота в соответствии со схемой (рис. 1).

Референтный (Ref), общий для всех отведений электрод, устанавливался внизу живота, активный «земляной» электрод — в правой подреберной области. Еще один активный электрод устанавливался в районе стандартного грудного отведения V5 для регистрации сигнала ЭКГ матери с целью выделения моментов сердечных сокращений и текущей частоты сердечных сокращений матери (ЧССМ). Места установки электродов протирались раствором этилового спирта для удаления следов жира на коже (и, при необходимости, мелкой абразивной лентой для удаления слоя эпителия). Использовались одноразовые Ag/AgCl электроды с «жидким гелем» для проведения холтеровского мониторинга, обеспечивающие минимальное переходное сопротивление электрод/кожа.



**Рис. 1.** Расположение электродов при записи абдоминального сигнала с целью обнаружения фетальных сердечных аритмий.

В усилителе биопотенциалов (внешний вид одного из вариантов УБП приведен на рис. 2) осуществлялось предварительное усиление, фильтрация сигналов в полосе 0,5 ... 100 Гц, их дискретизация и аналого-цифровое преобразование с частотой 1000 Гц и 16-разрядным разрешением в диапазоне  $\pm 8$  мВ.

Среднеквадратическое значение уровня шума усилителя составляло менее 1 мкВ. Передача данных в ПК выполнялась с использованием беспроводного Bluetooth интерфейса. Для приема многоканального абдоминального сигнала в персональный компьютер, его сохранения в базе данных и дальнейшей обработки использовалась модифицированная для решения задач электрокардиографии плода программа компьютерного электрокардиографического комплекса КАРДИОЛАБ (версия БЭБИКАРД) [14].

Процесс обработки записанного с поверхности тела беременной женщины многоканального сигнала (в грудном и пяти абдоминальных отведениях) включал в себя следующие процедуры:

- фильтрацию сигнала грудного отведения и детектирование сердечных сокращений матери с использованием модифицированного алгоритма Пана–Томпкинса;
- фильтрацию абдоминального сигнала набором НЧ/ВЧ фильтров 4-го порядка в полосе 12–90 Гц, обеспечивающую (по нашим оценкам и исследованиям [5]) наилучшее качество выделения ЭКГ плода (только для оценки сердечного ритма плода);
- удаление из абдоминальных сигналов материнской компоненты с использованием дефляционной процедуры [12, 13], которая, в свою очередь, предусматривает следующую последовательность действий: выполнение  $\pi$ СА с использованием в качестве опорных моментов сердечных сокращений матери, полученных на первом этапе обработки; выделение компонент ЭКГ матери; формирование усредненного комплекса ЭКГМ в пространстве компонент  $\pi$ СА; вычитание усредненного комплекса ЭКГМ из сигналов в пространстве компонент; взвешенная фильтрация остаточного сигнала; выполнение обратного преобразования  $\pi$ СА, переводящего остаточный сигнал из области компонент в область наблюдаемых данных. Результатом описанной процедуры является остаточный сигнал без компоненты ЭКГМ, являющейся основной мешающей составляющей в регистрируемом на абдоминальной поверхности сигнале;

- выделение из многоканального остаточного сигнала компоненты ЭКГ плода с использованием алгоритма слепого разделения сигналов (BSS) SOBI (по умолчанию), или JADE (по выбору оператора), автоматическая идентификация компоненты ЭКГП на основе векторного критерия максимального правдоподобия;
- формирование последовательности моментов сердечных сокращений плода и ее вторичную фильтрацию на основе набора критериев максимального правдоподобия;
- повторную фильтрацию исходного многоканального абдоминального сигнала (но теперь уже в полосе от 1 Гц до 100 Гц для сохранения формы ЭКГП) с использованием метода нелокальной медианной фильтрации с усреднением (нелокальная  $\alpha$ -урезанная фильтрация), и с учетом информации о моментах сердечных сокращений матери и плода, полученной на предыдущих этапах обработки;
- формирование усредненного комплекса ЭКГП для всех регистрируемых на АП отведений, автоматическая разметка ЭКГ пациента, определение временных и амплитудных параметров усредненного комплекса.

Более детально с процессом обработки абдоминального сигнала в программе БЭБИКАРД можно познакомиться в опубликованных работах [13, 14].

### 3.2. Материалы клинических обследований

Обследуемый контингент состоял из беременных женщин с одноплодной (в нескольких случаях — с двухплодной) беременностью, для которых выполнялось плановое наблюдение за ходом беременности в Харьковском городском перинатальном центре, Запорожском областном перинатальном центре, а также обследуемых по поводу различных нарушений беременности в отделе материнской и фетальной медицины научно-практического медицинского центра детской кардиологии и кардиохирургии г. Киева. Гестационный возраст обследуемых составлял от 18-ти до 41-й недели. Всем обследуемым женщинам (175 пациенток) были выполнены записи абдоминальных сигналов продолжительностью от 8-ми до 24-х минут. Параллельно с этим выполнялось ультразвуковое обследование, с помощью которого были диагностированы нарушения сердечного ритма у четырнадцати плодов на сроках беременности от 22-й до 41-й недели.

На первом этапе проведения экспериментальных исследований автоматическое обнаружение аномальных ритмов ЭКГ плода ограничивалось детектированием эпизодов со средней ЧСС плода ниже 110 уд/мин (брадикардия) или выше 180 уд/мин (тахикардия), а также событий, состоящих в укорочении очередного R-R-интервала более, чем на 30%, и удлинением следующего. Такое событие также отмечалось, как событие нарушения ритма. Другие виды нарушений ритма обнаруживались вручную путем визуального просмотра строки компоненты ЭКГП, и соответствующей ей ритмограммы (рис. 3).

## 4. Анализ данных и результаты

Среди четырнадцати исследуемых случаев с обнаруженными при ультразвуковом исследовании нарушениями ритма, в 5-ти случаях была диагностирована атриовентрикулярная блокада, в 7-ми случаях — различные формы суправентрикулярной экстрасистолии, в одном случае пароксизмальная суправентрикулярная тахикардия, и в одном

случае – брадикардия у одного из плодов двойни. Несмотря на то, что абдоминальные записи ЭКГ плода выполнялись с некоторым интервалом времени по отношению к УЗИ исследованию, и включали различающиеся эпизоды нарушений ритма, во всех рассматриваемых случаях нарушений кардиологического диагноза, полученный по NI-FECG, соответствовал диагнозу, поставленному в результате ультразвукового исследования. При этом, ни одна из контрольных записей «нормальной» ЭКГ плода, без обнаруженных при проведении УЗИ нарушений, не была диагностирована, как запись с нарушениями ритма. На приведенных ниже рисунках (рис. 4 и рис. 5) в качестве примера показаны результаты, получаемые при анализе нарушений сердечного ритма плода с использованием УЗИ и NIFECG.

Наконец, кроме измерения ЧСС плода, параметров вариабельности сердечного ритма плода и нарушений ритма, метод NI-FECG может предоставить информацию о морфологии QRS комплекса ЭКГП – его форме, продолжительности интервала QT, а также для оценки изменений сегмента ST, которые свидетельствуют о признаках гипоксии плода (рис. 6).

## 5. Заключение и выводы

На основе проведенного исследования можно сделать предварительные выводы о возможности использования неинвазивной абдоминальной электрокардиографии плода (NI-FECG) для обнаружения различных форм фетальных аритмий и перспективах создания фетального холтеровского монитора ЭКГ.

1. NI-FECG предоставляет вполне достоверную и наглядную информацию для обнаружения или уточнения диагноза – фетальная аритмия.

2. Одним из основных преимуществ метода является то, что он позволяет измерять показатели сердечной деятельности плода гораздо точнее в сравнении с классической кардиотокографией (КТГ), которая определяет лишь усредненную, примерно за 8–10 сокращений сердца, частоту сердечных сокращений, что не позволяет фиксировать кратковременные нарушения сердечного ритма плода.

3. В проведенном исследовании показано, что характерное выпадение сокращений на NI-FECG (или на ритмограмме, отражающей последовательность продолжительностей R-R-интервалов между очередными сердечными сокращениями) – как в примере (рис. 3), позволяет надежно идентифицировать эпизоды AV-блокады [15].

4. Кроме точного измерения ЧСС и параметров вариабельности сердечного ритма плода, метод может предоставить дополнительную информацию о продолжительности интервала QT для диагностики синдрома удлинения QT, а также для оценки изменений сегмента ST, которые свидетельствуют о признаках гипоксии плода.

Таким образом, проведенное исследование является еще одним шагом на пути к созданию полноценного фетального холтеровского монитора ЭКГ, скринингу нарушений сердечного ритма сердца плода, а также к дистанционному мониторингу сердечной деятельности плода в ходе беременности.

Исследования проводились с соблюдением национальных норм биоэтики и положений Хельсинкской декларации (в редакции 2013 г.). Авторы статьи – К. В. Наседкин, В. В. Федотенко, О. Г. Вьюницкий, В. И. Шульгин – подтверждают, что у них нет конфликта интересов.

## Литература

1. Donofrio M., Moon-Grady A., Hornberger L. et al. Diagnosis and Treatment of Fetal Cardiac Disease. *Scientific Statement From the American Heart Association*. 2014, vol. 129, pp. 2183–2242.
2. Srinivasan S., Strasburger J. Overview of fetal arrhythmias. *Curr. Opin. Pediatr.* 2008, vol. 20, no. 5, pp. 522–531. doi: 10.1097/MOP.0b013e32830f93ec.
3. Wacker-Gusmann, H. Paulsen, K. Stingl, J. Braendle, R. Goelz. Atrioventricular Conduction Delay in the Second Trimester Measured by Fetal Magnetocardiography. *Journal of Immunology*. 2014. doi: 10.1155/2014/753953
4. Cuneo B., Strasburger J., Horigome S. Yu, H., Hosono T., Kandori A., Wakai R. In utero diagnosis of long QT syndrome by magnetocardiography. *Circulation*, 2013, vol. 128, iss. 20, pp. 2183–2191.
5. Behar J. Extraction of clinical information from the non-invasive fetal electrocardiogram. *A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy Michaelmas*, 2014. 233 p.
6. Behar J., Zhu T., Oster J., Sameni R., Wolfberg A. J., Clifford G. D. Evaluation of the fetal QT interval using non-invasive fetal ECG technology. *Institute of Physics and Engineering in Medicine*. 2016, pp. 1392–1403.
7. Graatsma E., Jacod B., van Egmond L., Mulder E., Visser G. Fetal electrocardiography: feasibility of long-term fetal heart rate recordings. *BJOG*, 2009, vol. 116, pp. 334–338.
8. G. Clifford, R. Sameni, J. Ward, et al. Clinically accurate fetal ECG parameters acquired from maternal abdominal sensors. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 2011; vol. 205, iss. 47. doi: 10.1016/j.ajog.2011.02.066.
9. Behar J., Andreotti F., Zaunseder S. et al. A practical guide to non-invasive foetal electrocardiogram extraction and analysis. *Physiol.* 2016, vol. 37, iss. 5, pp. 1–35. doi: 10.1088/0967-3334/37/5/R1.
10. Zaderykhin O., Shulgin V. Blind Signal Separation Using Prior Information. *Conf. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science*, 2010, 48 p.
11. Zaderykhin O., Shulgin V., Tokariev A. Blind signal separation of fetal ECG using prior information. *Proc. of the Intern. Congress on Electrocardiology*, 2010.
12. Shulgin V., Shepel O. Computer Diagnostic System for Fetal Monitoring During Pregnancy. *Proc. of the Intern. Conf. TCSET «Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science»*. 2014, pp. 709–711.
13. Shulgin V., Viunytskyi O. Signal Processing Techniques for Fetal Electrocardiogram Extraction and Analysis. *Proc. of 37th Intern. Conf. on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2017)*, 2017, pp. 325–328.
14. Shulgin V., Viunytskyi O. Fetal ECG and Heart Rhythm analyzing using BabyCard. *Proceedings of Signal Processing Symposium*, 2017, pp. 21–24.
15. Behar J., Lakhno I., Ostras O., Andreotti F., Shulgin V. The use of non-invasive fetal electrocardiography in diagnosing second-degree fetal atrioventricular block. *BioMed Central, Maternal Health, Neonatology and Perinatology*, 2017. doi: 10.1186/s40748-017-0053-1



Рис. 2. Внешний вид автономного усилителя биопотенциалов с записью данных на SDHC флеш-карту и беспроводной передачей данных по Bluetooth.

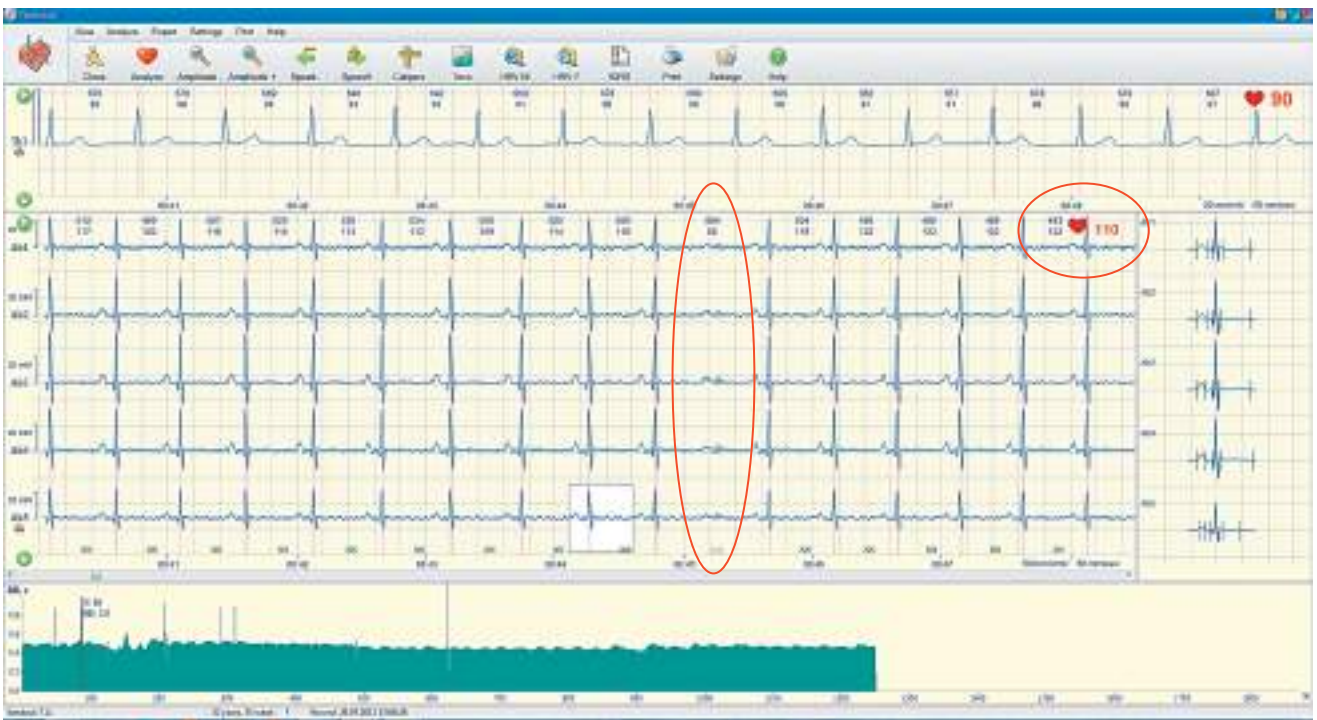


Рис. 3. Автоматически обнаруженный эпизод брадикардии, и визуально — AV-блокады.

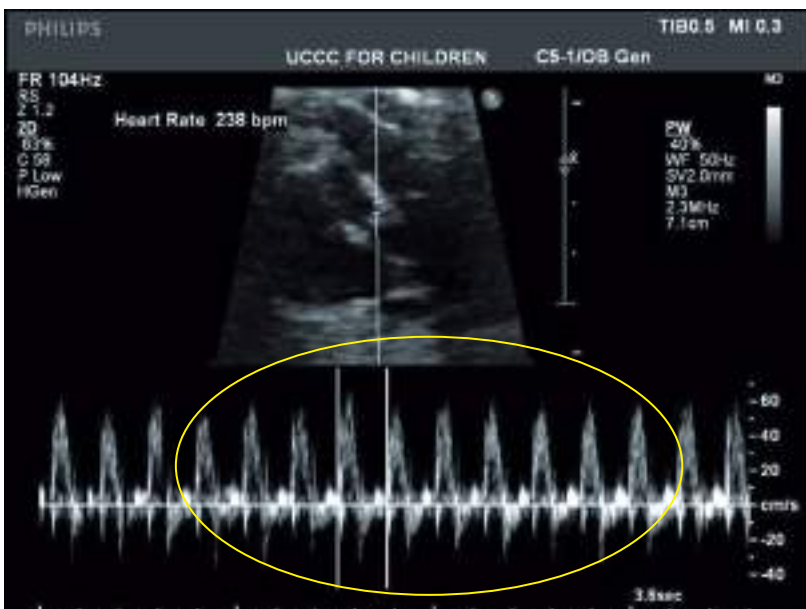


Рис. 4. УЗИ, Суправентрикулярная тахикардия.



Рис. 5. ЭКГ плода, эпизоды суправентрикулярной тахикардии.



Рис. 6. Анализ морфологии ЭКГ плода (нарушение внутрижелудочковой проводимости).

# Амбулаторне моніторування ЕКГ плоду

К. В. Наседкін, В. В. Федотенко, О. Г. В'юницький, В. І. Шульгін

Національний Аерокосмічний Університет «ХАІ», Харків, Україна

---

## Резюме

**Вступ.** Більшість існуючих діагностичних технологій і систем призначені, для стеження за станом здоров'я дорослих і дітей, і практично відсутні технології та системи, призначені для спільного моніторингу стану матері і плоду в ході вагітності. Хоча майбутнє здоров'я людини, в тому числі і витрати на його підтримку протягом усього життя, закладаються ще в утробі матері.

**Мета роботи.** Оцінка можливості виявлення і діагностики фетальних аритмій з використанням технології амбулаторного (холтерівського) моніторингу електрокардіограми плоду (ХМ ЕКГП).

**Результати досліджень.** Описано розроблені пристрої для запису і бездротової передачі спостережуваних на абдомінальній поверхні вагітної жінки сигналів, а також алгоритми обробки цих сигналів з метою виділення та клінічного аналізу ЕКГП. Виконано ретроспективний аналіз записів ЕКГП і результатів УЗД плоду для оцінки можливості діагностування різних порушень серцевого ритму.

**Висновки.** Неінвазивна електрокардіографія плода (NI-FECG) надає достовірну і наочну інформацію для виявлення або уточнення діагнозу фетальних аритмій (ФА). Основними перевагами методу є дешевизна, висока точність вимірювання показників серцевої діяльності плода в порівнянні з традиційним ультразвуком, можливість проведення обстеження в амбулаторних умовах і дистанційної передачі результатів обстежень в діагностичний центр.

*Ключові слова:* абдомінальний електрокардіографія плода; NI-FECG, холтерівське монітор; фетальні аритмії.

---

# Ambulatory fetal ECG monitoring

K. V. Nasedkin, V. V. Fedotenko, O. G. Viunyt'skyi, V. I. Shulgin

National Aerospace University «KhAI», Kharkiv, Ukraine

vyacheslav.shulgin@gmail.com

## Abstract

**Introduction.** Existing diagnostic technologies and systems are designed to monitor the health of adults and children, and there are virtually no technologies and systems designed to jointly monitor the condition of the mother and fetus during pregnancy. Although future human health, including the costs of its supporting throughout the life, are laid down in the womb.

**Objective.** Evaluation of the possibility of detection and diagnosis of fetal arrhythmias using ambulatory (Holter) monitoring technology of the fetal electrocardiogram.

**Results.** The developed devices for recording and wireless transmission of signals observed on the abdominal surface of a pregnant woman, as well as algorithms for processing these signals for the purpose of extraction and clinical analysis of fECG. A retrospective analysis of abdominal records and fetal ultrasound examination results performed to assess the possibility of diagnosing various cardiac rhythm disorders.

**Conclusions.** Non-invasive fetal electrocardiography (NI-FECG) provides reliable and intuitive information to detect or clarify the diagnosis of fetal arrhythmias (FA). The main advantages of the method are cheapness, high accuracy of measurements of cardiac fetal indexes in comparison with traditional ultrasound, the possibility of conducting an out-patient examination and remote transmission of the examination results to the diagnostic center.

*Key words:* Fetal abdominal electrocardiography; NI-FECG; Holter monitor; Fetal arrhythmias.

©2017 Institute Medical Informatics and Telemedicine Ltd, ©2017 Ukrainian Association of Computer Medicine, ©2017 Kharkiv medical Academy of Postgraduate Education. Published by Institute of Medical Informatics and Telemedicine Ltd. All rights reserved.

ISSN 1812-7231 *Klin.inform.telemed.* Volume 12, Issue 13, 2017, Pages 75–82

[http://kit-journal.com.ua/en/index\\_en.html](http://kit-journal.com.ua/en/index_en.html)

References (15)

## Reference

1. Donofrio M., Moon-Grady A., Hornberger L. et. al. Diagnosis and Treatment of Fetal Cardiac Disease. *Scientific Statement From the American Heart Association*. 2014, vol. 129, pp. 2183–2242.
2. Srinivasan S., Strasburger J. Overview of fetal arrhythmias. *Curr. Opin. Pediatr.* 2008, vol. 20, no. 5, pp. 522–531. doi: 10.1097/MOP.0b013e32830f93ec.
3. Wacker-Gussmann, H. Paulsen, K. Stingl, J. Braendle, R. Goelz. Atrioventricular Conduction Delay in the Second Trimester Measured by Fetal Magnetocardiography. *Journal of Immunology*. 2014. doi: 10.1155/2014/753953
4. Cuneo B., Strasburger J., Horigome S. Yu, H., Hosono T., Kandori A., Wakai R. In utero diagnosis of long QT syndrome by magnetocardiography. *Circulation*, 2013, vol. 128, iss. 20, pp. 2183–2191.
5. Behar J. Extraction of clinical information from the non-invasive fetal electrocardiogram. *A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy Michaelmas*, 2014. 233 p.
6. Behar J., Zhu T., Oster J., Sameni R., Wolfberg A. J., Clifford G. D. Evaluation of the fetal QT interval using non-invasive fetal ECG technology. *Institute of Physics and Engineering in Medicine*. 2016, pp. 1392–1403.
7. Graatsma E., Jacod B., van Egmond L., Mulder E., Visser G. Fetal electrocardiography: feasibility of long-term fetal heart rate recordings. *BJOG*, 2009, vol. 116, pp. 334–338.
8. G. Clifford, R. Sameni, J. Ward, et al. Clinically accurate fetal ECG parameters acquired from maternal abdominal sensors. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 2011; vol. 205, iss. 47. doi: 10.1016/j.ajog.2011.02.066.
9. Behar J., Andreotti F., Zaunseeder S. et al. A practical guide to non-invasive foetal electrocardiogram extraction and analysis. *Physiol.* 2016, vol. 37, iss. 5, pp. 1–35. doi: 10.1088/0967-3334/37/5/R1.
10. Zaderykhin O., Shulgin V. Blind Signal Separation Using Prior Information. *Conf. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science*, 2010, 48 p.
11. Zaderykhin O., Shulgin V., Tokariev A. Blind signal separation of fetal ECG using prior information. *Proc. of the Intern. Congress on Electrocardiology*, 2010.
12. Shulgin V., Shepel O. Computer Diagnostic System for Fetal Monitoring During Pregnancy. *Proc. of the Intern. Conf. TCSET «Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science»*. 2014, pp. 709–711.
13. Shulgin V., Viunyt'skyi O. Signal Processing Techniques for Fetal Electrocardiogram Extraction and Analysis. *Proc. of 37th Intern. Conf. on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2017)*, 2017, pp. 325–328.
14. Shulgin V., Viunyt'skyi O. Fetal ECG and Heart Rhythm analyzing using BabyCard. *Proceedings of Signal Processing Symposium*, 2017, pp. 21–24.
15. Behar J., Lakhno I., Ostras O., Andreotti F. Shulgin V. The use of non-invasive fetal electrocardiography in diagnosing second-degree fetal atrioventricular block. *BioMed Central, Maternal Health, Neonatology and Perinatology*, 2017. doi: 10.1186/s40748-017-0053-1

## Переписка

к.т.н., професор **В. І. Шульгин**

Національний аерокосмічний університет

ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ»

ул. Чкалова 17, Харків, 61070, Україна

тел.: +380 (67) 718 22 71

+380 (99) 426 52 18

ел. пошта: vyacheslav.shulgin@gmail.com