

Электрокардиография высокого разрешения плода. Новые возможности старого метода

П. Б. Цывьян, В. В. Ковалев, Г. В. Чашин, Н. В. Тарасова, В. Л. Кодкин

Отделение биофизических и лучевых методов исследований ФГУ «НИИ ОММ Росмедтехнологий», г. Екатеринбург.
Южно-Уральский технический университет, г. Челябинск

High definition fetal electrocardiography. New opportunities of the old method

P. B. Tsyvian, V. V. Kovalev, G. V. Chaschin, N. V. Tarasova, V. L. Kodkin

Резюме

Проведена неинвазивная регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) плода у 102 женщин с нормально развивающейся беременностью с сроках от 22 до 40 недель. Применяя компьютерные методы фильтрации сигнала и усиления удалось в 86% случаев получить записи хорошего качества, необходимого для анализа ритма плода. При параллельном измерении частоты сердечных сокращений (ЧСС) плода по ЭКГ сигналу и по ультразвуковому сигналу (при помощи кардиотокографа) показано, что точность измерения ЧСС по ЭКГ выше. Обсуждаются новые возможности ЭКГ высокого разрешения в диагностике состояния сердечно-сосудистой системы плода.

Ключевые слова: электрокардиография плода, математические методы фильтрации сигнала, диагностика.

Resume

Using electrodes sited on the maternal abdomen, a fetal electrocardiography (fECG) system was developed and tested on 102 pregnant women from 22 to 40 weeks of gestation. The ECG signals were stored on a computer and the fECG derived off-line using digital signal processing technique. The success rate sufficient for fetal heart rate (FHR) analysis was 86%. The comparison of FHR traces based on fECG and ultrasound modality (conventional cardiotocography) reveals that fECG is more accurate in FHR assessment. The study demonstrates the feasibility of fECG recordings for non-invasive fetal diagnostics.

Key words: fetal electrocardiography, mathematical methods of filtration, diagnostics.

Введение

Вскоре после изобретения Эйнтховеном струнного гальванометра и первой записи электрокардиограммы (ЭКГ) была осуществлена запись электрической активности сердца плода человека. Однако качество регистрации сигналов ЭКГ плода было низким. Это было связано с наличием сыровидной смазки на теле плода, изолирующей и экранирующей электрические сигналы и влиянием на запись более мощного комплекса QRS матери. Прогресс в разработке ультразвуковой техники привел к тому, что основными методами диагностики состояния сердечно-сосудистой системы плода стали ультразвуковые: эхокардиография и кардиотокография. Обладая высокой информатив-

ностью, ультразвуковые методы ориентированы на оценку вторичных механических явлений в сердце и сосудах плода и не позволяют получить информацию о первичном, электрическом сигнале, лежащем в основе управления сердца. Более того, внедрение в программное обеспечение современных кардиотокографов математической функции автокорреляции делает невозможным регистрацию истинного ритма сердца при аритмии, диагностику нарушений проведения. Расширение возможностей ультразвуковых диагностических аппаратов ставит перед исследователем задачу исследования так называемых электро-механических интервалов между электрическим (управляющим) сигналом и началом механического ответа, отражающих сократительные свойства миокарда плода. Развитие математических способов обработки и фильтрации слабых сигналов позволило разработать метод ЭКГ высокого разрешения [1]. Благодаря этому возникла возможность повышения качества регистрации электрических сигналов сердца плода и внедрение в научные и клинические исследования электрокардиографии плода на новом качественном уровне.

- П. Б. Цывьян — д. м. н., профессор, рук. отделения биофизических и лучевых методов исследования;
В. В. Ковалев — д. м. н., профессор, директор ФГУ «НИИ ОММ Росмедтехнологий»;
Г. В. Чашин — зав. отделом Екатеринбургского центра МТК «Микрохирургия глаза»;
Н. В. Тарасова — врач акушер-гинеколог акушерского физиологического отделения, заочный аспирант;
В. Л. Кодкин — д. т. н., профессор кафедры электропривода Южно-Уральского технического университета.

Цель исследования: оценке возможностей метода регистрации ЭКГ плода высокого разрешения у беременных женщин в широком диапазоне сроков гестации и разработке рекомендаций по оптимизации таких исследований.

Материал и методы исследования

Были исследованы 102 женщины с нормально развивающейся беременностью с сроках от 22 до 40 недель. Регистрация ЭКГ плода проводилась в первую половину дня параллельно с регистрацией кардиотокограммы (КТГ). Регистрация ЭКГ плода проводилась при помощи блока ЭКГ высокого разрешения, разработанного в НПО «Электромашина» (г. Челябинск) и прошедшего соответствующую сертификацию как медицинский диагностический аппарат. Усиленный и отфильтрованный сигнал подавался на экран персонального компьютера и записывался в оперативную память компьютера. Регистрация ЭКГ сигналов плода проводилась с передней брюшной стенки матери при помощи четырех стандартных электродов для усиленных грудных отведений. Проекцию сердца плода на переднюю брюшную стенку матери определяли при помощи ультразвукового датчика кардиотокографа «Kranzbuhler» (Австрия). Электроды размещали таким образом, чтобы прямая линия, проведенная между парами электродов, проходила через точку проекции сердца плода на кожу передней брюшной стенки. Каждая пара размещалась так, чтобы линии, соединяющие электроды различных пар были перпендикулярны, что гарантировало максимальную проекцию вектора возбуждения сердца на одну из этих линий. Аналогово-цифровой преобразователь цифрового электрокардиографа обладал частотой оцифровки сигнала 512 Гц и собственным шумом 0.2 микровольта. В ходе регистрации в буферную память процессора электрокардиографа записывали последовательность сигналов порядка 1 мин. После этого проводи-

лась визуальная проверка качества записи, цифровая фильтрация и запись на жесткий диск.

После регистрации ЭКГ и последовательной цифровой фильтрации сигналов в группе из 102 женщин в 86% случаев удалось получить удовлетворительные по качеству записи QRS комплексов плода. На рис. 1 представлена запись электрокардиограммы матери и плода в сроке 37 недель после цифровой фильтрации. Эта процедура не вносит существенных изменений в форму сигнала. Однако процессы фильтрации способны смещать во времени пик отфильтрованного сигнала.

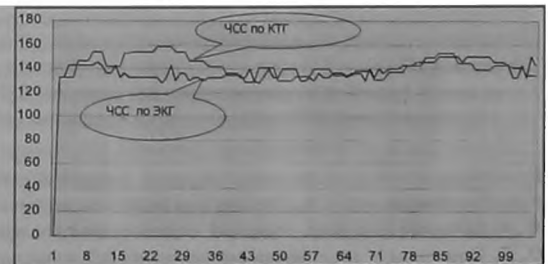
Поскольку желудочковый комплекс матери обладает наибольшей амплитудой, то фильтрация приводила к запаздыванию пика его относительно исходного сигнала в большей степени, чем для плодового желудочкового комплекса. Измерения показали, что запаздывание составляет для QRS комплекса матери от 6 до 8 мс. Поскольку основной целью работы было получение качественного ЭКГ сигнала плода, то была проведена оценка величины смещения QRS комплекса плода при цифровой фильтрации. Величина запаздывания составила $4,3 \pm 0,7$ мс, что при средней величине длительности RR интервала 436 ± 28 мс не превышала 1% его длительности. Поскольку величина запаздывания в результате фильтрации достаточно длинной серии желудочковых комплексов QRS является систематической постоянной ошибкой, то она не вносит существенного влияния в оценку частоты сердечбиений плода по ЭКГ сигналу.

Вторым этапом работы было сравнение точности измерения мгновенной частоты сердечбиений по ЭКГ и ультразвуковому сигналам. Для этого проводилась одновременная регистрация ЭКГ и КТГ плода. На рис. 2 представлены две записи измерения частоты сердечбиений, сделанных при расчетах длительностей кардиоинтервалов по ЭКГ и КТГ. Видно суще-

Рисунок 1. Пример одновременной регистрации электрокардиограммы высокого разрешения матери и плода. Желудочковые комплексы плода отмечены стрелками



Рисунок 2. Результаты расчета частоты сердечбиений плода по ЭКГ и ультразвуковому сигналам (КТГ) на отрезке записи длительностью 100 секунд



ственное различие в измерении ЧСС в начале записи на протяжении около 30 сек. Причиной этого является то, что отраженный доплеровский сигнал кардиотокографа представляет собой сложный многокомпонентный сигнал. Для вычисления ЧСС всегда берется самый высокоамплитудный компонент сигнала. В зависимости от угла инсонации самыми скоростными и высокими по амплитуде компонентом могут быть сигналы от различных структур сердца, отражающие различные события. Это могут быть открытие или закрытие атриовентрикулярных или полулунных клапанов, потоки крови в крупных сосудах и между предсердиями и желудочками. Поскольку события эти происходят в различные моменты сердечного цикла, то оценка ЧСС по ультразвуковому сигналу может давать ошибку в оценке длительности кардиоцикла от 25 до 30 мс. Более того, морфологический анализ записи ЭКГ плода позволяет диагностировать такие нарушения ритма как экстрасистолию и исследовать ее природу [2]. Используемые в настоящей работе математические методы обработки позволяют регистрировать сигналы ЭКГ плода удовлетворительного качества не хуже получаемого при использовании более сложных программ адаптивной фильтрации [3].

Надежная регистрация ЭКГ плода позволяет внедрить в практику ультразвуковых исследований измерение так называемых электро-механических интервалов. При этом на

экране ультразвукового прибора можно одновременно регистрировать QRS комплекс и следующий за ним доплеровский сигнал выброса в аорту. Длительность этого интервала непосредственно связана с сократительной способностью миокарда плода и отражает время, необходимое для достижения желудочками плода давления открытия полулунных клапанов.

Выводы

1. Электрокардиография высокого разрешения позволяет надежно регистрировать QRS сигналы ЭКГ плода в широком диапазоне сроков гестации.
2. Измерение частоты сердечных сокращений по ЭКГ сигналам более точно, чем по ультразвуковым сигналам при записи кардиотокограммы.
3. ЭКГ высокого разрешения открывает возможности оценки сократительной способности миокарда плода по электромеханическим интервалам.

Литература

1. Taylor M. J. O., Smith M. J., Thomas M. et al. Non-invasive fetal electrocardiography in singleton and multiple pregnancies. *Brit. J. Obst. Gyn.*, 2003, 110 (5), 668-678.
2. Crowe J. A., Woolfson M. S., Hayes-Gill B. R. et al. Antenatal assessment using the FECG obtained via abdominal electrodes. *J. Perinatal Med.*, 1996, 24 (1), 43-53.
3. Zarzoso V., Nandi A. K. Noninvasive fetal electrocardiogram extraction: blind separation versus adaptive cancellation. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2001, 48 (1), 12-18.

Иммунные механизмы регуляции формирования фетоплацентарного комплекса

И. А. Газиева, Г. Н. Чистякова, И. В. Данькова, О. Л. Селиванов

Отделения иммунологии и микробиологии ФГУ «НИИ ОММ Росмедтехнологий», г. Екатеринбург

Immune mechanisms of the regulation of fetoplacental complex development

I. A. Gazieva, G. N. Chistyakova, I. V. Dankova, O. L. Selivanov

Federal Agency of High-Tech Medicine, Ural Research Institute of Maternity and Infancy Welfare, Ekaterinburg, Russia

Резюме

Целью работы являлась оценка прогностической значимости определения цитокинов, факторов роста и вазоактивных регуляторов в развитии нарушений гемодинамики фетоплацентарного комплекса и формировании ФПН. Обследовано 57 женщин в динамике физиологически и патологически протекающей беременности. Основную группу составили 45 женщин с манифестацией ФПН во второй половине беременности: 17 женщин с компенсированной формой ФПН, 15 женщин с субкомпенсированной формой ФПН, сопровождавшейся развитием СЗРП без гемодинамических нарушений и 13 женщин с субкомпенсированной формой ФПН, сопровождавшейся развитием СЗРП с нарушением маточно-плацентарного кровотока. Установлено,

И. А. Газиева — к. б. н., старший научный сотрудник отделения иммунологии и микробиологии;

Г. Н. Чистякова — д. м. н., доцент, руководитель отделения иммунологии и микробиологии;

И. В. Данькова — к. м. н., старший научный сотрудник научного отделения биохимических методов исследования;

О. Л. Селиванов — зав. первого акушерского отделения патологии беременности.