



Фонокардиография и кардиотокография позволяют осуществить динамический контроль состояния плода при гестационном сахарном диабете

Репина Е.С.¹, Костелей Я.В.^{2,3}, Исакова Е.О.¹, Скороходова Т.В.¹, Буреев А.Ш.³, Юрьев С.Ю.^{1,4}

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, (Московский тракт, 2, г. Томск, 634050, Россия)

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», (пр. Ленина, 40, г. Томск, 634050, Россия)

³ Общество с ограниченной ответственностью «Диагностика +», (пр. Фрунзе, 116, пом. 407, г. Томск, 634029, Россия)

⁴ Общество с ограниченной ответственностью «Центр перинатального здоровья», (ул. Сибирская 9/1, г. Томск, 634029, Россия)

Для цитирования: Репина Е. С., Костелей Я. В., Исакова Е. О., Скороходова Т. В., Буреев А. Ш., Юрьев С. Ю. Фонокардиография и кардиотокография позволяют осуществить динамический контроль состояния плода при гестационном сахарном диабете. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2023;212(4): 55–63. DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-212-4-55-63

✉ Для переписки:

Искова

Елизавета

Олеговна

heregrowrose

@gmail.com

Репина Екатерина Сергеевна, ассистент кафедры акушерства и гинекологии

Костелей Яна Валерьевна, старший преподаватель кафедры экономической математики, информатики и статистики;

инженер-программист

Скороходова Татьяна Васильевна, к-т мед. наук, доцент кафедры акушерства и гинекологии

Исакова Елизавета Олеговна, ординатор кафедры акушерства и гинекологии

Буреев Артем Шамильевич, директор

Юрьев Сергей Юрьевич, д-р мед. наук, профессор кафедры акушерства и гинекологии, директор

Резюме

Цель исследования: сравнить адекватность расчета параметров кардиоинтервалограммы плода, полученной методами доплерографии и фонографии от степени ожирения у беременной

Материалы и методы: В исследовании приняли участие 54 беременные женщины в возрасте от 16 до 42 лет, все женщины отнесены к высокой степени перинатального риска. Срок беременности на момент исследования составлял 27–41 недель. У 26 женщин течение беременности осложнялось гестационным сахарным диабетом, у 28 женщин данный диагноз отсутствовал. ИМТ участниц исследования составлял от 21 до 35 кг/м². Запись кардиотокограммы проводилась аппаратами Sonicaid Team (Sonicaid Ltd/ Huntleigh Healthcare, Великобритания) и FC 1400 (Bionet, Южная Корея). Запись фонокардиограммы проведена программно-аппаратным комплексом FetalCare (ООО «Диагностика+» г. Томск). Для каждого исследования время, когда одновременно присутствовал сигнала сердца на КТГ и ФКГ, составило в среднем 23,7±8,8 мин.

Результаты исследования: По полученным данным КТГ и ФКГ была рассчитана зависимость процента потерянного сигнала (%), объема пересечений графиков (%), корреляции между графиками КТГ и ФКГ (r ,%), процента записи с отклонением графика КТГ и ФКГ менее 12,5 уд/мин (1-RO%), абсолютной разницы значений средней ЧСС (уд/мин), базального ритма (БР, уд/мин), STV и LTV (мс) от индекса массы тела пациентки.

Заключение: Фонокардиография является перспективным методом для длительного непрерывного мониторинга сердечного ритма плода, учитывая бюджетность оборудования и абсолютную безопасность для матери и плода. Проведенное исследование доказало возможность применения метода ФКГ у женщин с ожирением, малую зависимость расчетных параметров кардиоинтервалограммы от индекса массы тела. Следует продолжить разработки по созданию новых модификаций фетальных мониторов, основанных на различных принципах регистрации сердечного ритма.

Ключевые слова: гестационный сахарный диабет, макросомия плода, диабетическая фетопатия, кардиотокография, необходимость постоянного дистанционного мониторинга сердечной деятельности

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

EDN: NO11YQ



<https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-212-4-55-63>

Phonocardiography and cardiotocography allow dynamic monitoring of the fetus in gestational diabetes mellitus

E. S. Repina¹, Ya. V. Kosteley^{2,3}, E. O. Isakova¹, T. V. Skorohodova¹, A. Sh. Bureev³, S. Yu. Yuriev^{1,4}

¹ Siberian State Medical University, (2 Moscovski Trakt, Tomsk, 634050, Russia)

² Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, (40 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia)

³ Diagnostika +, LLC, (11b Frunze Ave., Tomsk, 634029, Russia)

⁴ Perinatal Health Center, LLC (9/1, Sibirskaia Str., Tomsk, 634029, Russia)

For citation: Repina E. S., Kosteley Ya. V., Isakova E. O., Skorohodova T. V., Bureev A. Sh., Yuriev S. Yu. Phonocardiography and cardiotocography allow dynamic monitoring of the fetus in gestational diabetes mellitus. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2023;212(4): 55–63. (In Russ.) DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-212-4-55-63

✉ *Corresponding author:*

Elizaveta O. Isakova
heregrowrose@gmail.com

Ekaterina S. Repina, MD, Assistant of the Department of Obstetrics and Gynecology
Yana V. Kosteley, Senior teacher of the Department of Economic Mathematics, Computer Science and Statistics
Artem Sh. Bureev, Director
Sergey Yu. Yuriev, MD, Professor of the Department of Obstetrics and Gynecology; Director
Tatiana V. Skorohodova, MD, Candidate of medicine, Docent of the Department of Obstetrics and Gynecology
Elizaveta O. Isakova, resident of the Department of Obstetrics and Gynecology

Summary

The aim: To compare the adequacy of calculating the parameters of the fetal cardiointervalogram obtained by Doppler and phonography methods from the degree of obesity in a pregnant woman

Materials and methods: The study involved 54 pregnant women aged 16 to 42 years, all women are classified as having a high degree of perinatal risk. The gestational age at the time of the study was 27–41 weeks. In 26 women, the course of pregnancy was complicated by gestational diabetes mellitus, in 28 women this diagnosis was absent. The BMI of the study participants ranged from 21 to 35 kg/m². The cardiotocogram was recorded using Sonicaid Team (Sonicaid Ltd/ Huntleigh Healthcare, UK) and FC 1400 (Bionet, South Korea) devices. Recording of the phonocardiogram was carried out using the FetalCare software and hardware complex (Diagnostics+ LLC, Tomsk). For each study, the time when the simultaneous presence of a heart signal on CTG and FCG averaged 23.7 ± 8.8 minutes.

Results: Based on the data obtained from CTG and FCG, the dependence of the percentage of the lost signal (%), the volume of intersections of the graphs (%), the correlation between the CTG and FCG graphs (*r*,%), the percentage of recording with a deviation of the CTG and FCG graph of less than 12.5 beats/min was calculated (1-RO,%), the absolute difference in the values of the average heart rate (bpm), basal rate (BR, bpm), STV and LTV (ms) from the patient's body mass index.

Conclusion: Phonocardiography is a promising method for long-term continuous monitoring of the fetal heart rate, given the low cost of equipment and absolute safety for mother and fetus. The conducted study proved the possibility of using the FCG method in obese women, a small dependence of the calculated parameters of the cardiointervalogram on the body mass index. It is necessary to continue developments on the creation of new modifications of fetal monitors based on various principles of heart rate recording.

Keywords: gestational diabetes mellitus, fetal macrosomia, diabetic fetopathy, cardiotocography, the need for continuous remote monitoring of cardiac activity

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Введение

Ведение беременности у пациенток с сопутствующей патологией желудочно – кишечного тракта (ЖКТ) часто становится сложной проблемой, поскольку в большей части случаев

гастроэнтерологические осложнения являются вторичными на фоне как физиологической инсулинрезистентности, так и формирующегося гестационного сахарного диабета (ГСД) матери.

При прогрессировании ГСД проявляется иногда только гастроинтестинальными симптомами, что делает необходимой дифференциальную диагностику патологии ЖКТ во время беременности и, собственно ГСД. Наиболее частыми гастроинтестинальными симптомами диабета во время беременности являются: дисфагия (встречается у 2–27% больных СД), гастропарез (в 7–29%), диарея (в 0–22%), констипационный синдром (в 2–60%), недержание кала (в 1–20%) [1]. ГСД характеризуется возникновением гипергликемии у женщин без ранее диагностированного диабета. Основным звеном патогенеза является нарушение толерантности к глюкозе вследствие неадекватного взаимодействия с рецепторами на поверхности клетки-мишени в инсулинозависимых тканях [2]. ГСД развивается в случае, если материнские β -клетки неспособны адаптироваться к метаболическим изменениям, сопровождающим беременность [3]. Уровень заболеваемости ГСД на сегодняшний день продолжает расти во всем мире. По данным CDC уровень ГСД в мире составляет от 10% в развитых странах, а в остальном мире, в зависимости от климата, типа питания и преобладающей расы – от 17,8 до 41,9%(3). Причины катастрофического роста до конца не понятны. Главными, конечно, являются несбалансированная диета матери с высоким содержанием сладостей, жиров и обработанных пищевых продуктов [4]. Негативно влияет не только повышенное потребление глюкозы, но и нехватка поступления витаминов группы В, витамина D3, белка и железа [5]. Некоторые исследователи отмечают, что нарушение пробиотического баланса в кишечнике может быть причиной нарушения всасывания питательных веществ и последующим развитием ожирения, метаболического синдрома, ГСД [6,7]. Диетотерапия доказала свою эффективность в профилактике развития глюкозотолерантности [8, 9].

Значимыми факторами риска развития ГСД являются возраст и этническая принадлежность матери, наличие у нее синдрома поликистозных яичников, ГСД и преэклампсии во время предыдущих беременностей и даже климат, в котором беременная живет [10–15].

Формирование ГСД повышает риск осложнений со стороны матери и плода, негативно влияющие на гестационный процесс, здоровье матери после родов и постнатальное развитие ребенка. Так гипергликемия является повреждающим фактором эндотелия сосудов, что может являться причиной возникновения артериальной гипертензии матери в период беременности и после нее. Сочетание ГСД и гипертензии повышает вероятность развития преэклампсии [11]. Доказано, что женщины с ГСД имеют удвоенный риск развития диабета второго типа в отдаленном прогнозе [17].

Нарушения функции плаценты при ГСД присутствуют всегда, поскольку имеет место тромботическая ангиопатия и, как следствие, повышение отложения фибриноида в межворсинчатом пространстве и фибриноидный некроз. Различная степень нарушений проявляется задержкой роста плода и, при критическом нарушении плацентарного,

пуповинного и внутриплодового кровотока, антенатальной гибелью плода [18–20].

Диабетическая фетопатия (ДФ) – общее название болезней плодов и новорожденных, матери которых страдали сахарным диабетом, возникающих с 84-го дня внутриутробной жизни (с 12-й недели внутриутробной жизни) до начала родов и характеризующееся полисистемным поражением, метаболическими и эндокринными дисфункциями [21]. Основными критериями фетопатии являются макросомия плода в сочетании с такими клиническими осложнениями как гипогликемия, гипокалиемия с нарушениями сердечного цикла, определяемые уже неонатальном периоде.

В контексте данной работы необходимо выделить основной патогенетический механизм развития фетопатии – увеличение внутриутробной потребности в кислороде за счет гипергликемии и гиперинсулинемии [22]. Это ведет не только к гипертрофии плода, что повышает риск натальной травмы и частоты оперативного родоразрешения но и прогрессированию тканевой гипоксии, дистрессу и внутриутробной асфиксии. Данный факт диктует необходимость динамического наблюдения за состоянием плода для своевременной регистрации декомпенсации.

Согласно российским клиническим рекомендациям, УЗИ плода проводится в 28–29 недель у беременных с ГСД для выявления ДФ, многоводия и нарушений состояния плода. В дальнейшем УЗИ рекомендуется проводить не реже 1 раза в 4 недели при отсутствии ДФ в 28–29 недель, а при ее наличии – не реже 1 раза в 3 недели или чаще для своевременной корректировки назначений.

Проведение КТГ начинается с 32 недель и делается не реже 1 раза в 7–10 дней, с 37 недель – не реже 1 раза в 7 дней или чаще для своевременной диагностики дистресса плода. Это значительно чаще, чем при нормальной беременности, когда КТГ проводится начиная с 33 недель беременности с кратностью 1 раз в 2 недели, но, как показывает статистика перинатальной заболеваемости и смертности, все равно недостаточно для адекватного наблюдения. Значимая часть случаев антенатальной гибели плода регистрируется при беременности, осложненной ГСД [23].

Очевидно, что при развитии ГСД помимо контроля пищевого поведения матери, веса и уровня гликемии, стандартного УЗИ и КТГ контроля необходим частый вплоть до непрерывного метод регистрации сердечной деятельности плода в целях своевременной диагностики внутриутробной гипоксии. Учитывая невозможность госпитализации всех беременных с ГСД в стационар и ежедневного КТГ контроля в условиях женской консультации оптимальным методом является дистанционный мониторинг в домашних условиях. Оборудование для дистанционного мониторинга присутствует на рынке, однако КТГ на основе доплера не предназначено для длительного использования – остаются вопросы безопасности ультразвука, регистраторы не прямой фетальной ЭКГ дороги и не могут быть использованы для должной доли (7–10%) всех беременных, наблюдающихся в женских консультациях.

Необходимо отметить, что само получение данных становится проблемой. Пациентки с ГСД, как правило, имеют излишний вес. Показано, что увеличение массы тела матери приводит к нарастанию ошибки в расчетных показателях кардиоинтервалограммы (КИГ) плода, зарегистрированной с помощью доплера в отличие от прямой и абдоминальной записи ЭКГ [24].

Таким образом актуальным является поиск технических возможностей безопасной, бюджетной, не лимитированной по частоте и продолжительности регистрации сердечной деятельности плода у беременных с ожирением различного генеза. Доказано, что КИГ плода отличается более высоким базальным ритмом и низкой вариабельностью у пациенток с ожирением [25].

Перспективным методом в этом плане является фонокардиография (ФКГ). Метод, предложенный в конце девятнадцатого века,

получивший свое развитие в России благодаря профессорам Н. Л. Гармашевой, Л. С. Персианинову, В. Н. Демидову сейчас переживает второе рождение с внедрением способов математической обработки КИГ и, созданием программно-аппаратных комплексов мониторинга. Такие достоинства, как неинвазивность, безопасность, сравнительно недорогое оборудование, создают предпосылки для успешного применения ФКГ в условиях современной перинатальной медицины. В России компанией ООО «Диагностика +» (г. Томск) создан программно-аппаратный комплекс FetalCare, предназначенный для круглосуточного мониторинга состояния плода.

В настоящем исследовании мы провели сравнение кривых КИГ, созданных с помощью фонографа и фетального монитора для доказательства возможности применения ФКГ для мониторинга сердечной деятельности плода

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 54 беременные женщины в возрасте от 16 до 42 лет, все женщины отнесены к высокой степени перинатального риска. Срок беременности на момент исследования составлял 27–41 недель. У 26 женщин течение беременности осложнялось ГСД, у 28 женщин данный диагноз отсутствовал.

ИМТ участниц исследования составлял от 21 до 35 кг/м². ИМТ рассчитывался из массы тела при постановке на учет. Беременных с исходным дефицитом массы тела в исследовании не было. Женщин с нормальной массой тела – 28, с избытком массы тела по ВОЗ – 20, с ожирением 1 стадии – 6. Запись ленты КТГ проводилась аппаратами Sonicaid Team (Sonicaid Ltd/ Huntleigh Healthcare, Великобритания) и FC 1400 (Bionet, Южная Корея). Запись ФКГ проведена программно-аппаратным комплексом FetalCare (ООО «Диагностика+» г. Томск). Оба датчика ФКГ и КТГ фиксировались к передней брюшной стенке женщины эластичной лентой в наилучшей точке выслушивания ЧСС плода. Длительность исследований составляла 40 мин. Для каждого исследования время, когда одновременно присутствовал сигнала сердца на КТГ и ФКГ, составило в среднем 23,7±8,8 мин.

В результате проведенного эксперимента было получено 73 параллельных исследования (ФКГ и КТГ). Из них 15 исследований были признаны непригодными: на 4 исследованиях присутствовала значительная потеря сигнала сердцебиений плода на ФКГ, на 2 исследованиях присутствовал сигнал сердцебиений матери на ФКГ (с частотой сердечных сокращений 90–120 уд/мин), 2 исследования были исключены по техническим причинам. В результате было получено 58 исследований 46 пациенток, которые были включены в исследование.

Данные исследования ФКГ в приложения FetalCare хранятся в файле формата json и содержат поточечные данные полученных графиков частоты сердечных сокращений (ЧСС) и рассчитанные на основании их параметры. Данные КТГ представлены на бумажной ленте и требовали оцифровки.

Оцифровка графиков проводилась в написанном для данной цели приложении для персонального компьютера, в котором реализован следующий алгоритм автоматизированной разметки:

- загрузка изображения сканирования ленты КТГ из PDF-файла, создание локальных копий изображения в компонентах RGB (red, green, blue) и оттенках серого;
- экспертом задавался параметр ориентации ленты (повороты влево и вправо на 90°, полный поворот на 180°) так, чтобы ось времени была направлена вправо, а ось ЧСС вверх;
- вручную экспертом задавался параметр пороговой бинаризации (нижний), отражающий границу яркости изображения в оттенках серого, ниже которой будет присутствовать линии сетки, а выше которой присутствует фон; формируется бинарная маска линий сетки;
- вручную экспертом выделялась прямоугольная область графика;
- с помощью преобразования Хафа производился поиск горизонтальных и вертикальных линий сетки с поворотом не более 10° и равным взаимным расстоянием между соседними прямыми;
- вручную экспертом задавался шаг сетки и начальное значение времени и ЧСС;
- производилась аппроксимация значений пикселей на сетку со значением времени в секундах по оси ОХ и ЧСС в уд/мин по оси ОУ;
- вручную задавался параметр бинаризации Брэдли, позволяющий частично исключить линии сетки, линии заломов и помарок бумаги, подписи шариковой ручкой и другую фоновую информацию и выделить области линий графика ЧСС;
- из полученной бинарной маски исключались точки, незначительно отклоняющиеся от линий сетки;
- производилось интерполирование бинарной маски и исходного изображения на регулярную сетку графика зависимости частоты сердечных сокращений от времени;

- полученная бинарная маска разбивась на ячейки 3 с на 3 уд/мин, помечались ячейки, в которых присутствуют точки бинарной маски;
- на полученной сетке ячеек алгоритмом последовательного сканирования определялись восьмисвязные области;
- вручную экспертом помечались связные области (путем выделения одной ячейки связной области), которые наложены на график ЧСС, а также помечались ячейки, которые должны разомкнуть область графика с областями подписей и других затемнений на изображении при возникновении таких ситуаций;
- проводилась кусочно-линейная аппроксимация по интенсивности яркостей выделенных областей (с шагом 2 с) с целью получения поточечных значений графика;
- загружались данные из json-файла приложения FetalCare, для ручного подбора смещения графиков КТГ и ФКГ, полученный график частоты сердечных сокращений ФКГ накладывался на полученное изображение с регулярной сеткой;
- после оцифровки всех листов сканирования ленты КТГ по полученным значениям оцифровки графика КТГ и взаимного смещения графиков КТГ и ФКГ (во временной шкале ФКГ) производилась запись полученных данных в файлы csv.

Расчет таких параметров как базальный ритм, STV, LTV (short и long term variability) и проводился с помощью приложения STVcalc, представляющего собой скрипт на языке Python, который позволяет загрузить график ЧСС из файла CVS (частота дискретизации – 240 точек в мин) и сохранить полученные параметры в файл такого же формата [26].

Статистические методы: Коэффициент корреляции Пирсона (*R*) использовался для количественной оценки зависимости сходства графиков ЧСС КТГ и ЧСС ФКГ, а также разницы параметров оценки состояния плода, рассчитанных этими методами, от ИМТ и зависимости выбранных параметров от объема пропусков сигнала на обоих графиках.

Результаты исследования

По полученным данным КТГ и ФКГ были рассчитаны следующие параметры: процент потерянного сигнала (%), объем пересечений графиков (%), коэффициент корреляции Пирсона между графиками КТГ и ФКГ (*r*,%), процент записи с отклонением графика КТГ и ФКГ менее 12,5 уд/мин (1-RO,%), абсолютная разница значений средней ЧСС (уд/мин), базального ритма (БР, уд/мин), STV и LTV (мс). Средняя ЧСС была рассчитана для каждого из графиков в интервалах, когда сигнал плода присутствовал на КТГ и ФКГ одновременно. При расчете БР, STV и LTV для КТГ и ФКГ было зафиксировано время начала и завершения исследования, но при этом в данном интервале времени могли присутствовать сегменты потери сигнала ФКГ и КТГ.

На рисунке 1 представлен график зависимости абсолютного отклонения БР КТГ и БР ФКГ от ИМТ. Среднее значение абсолютного отклонения составило $2,1 \pm 2,21$ уд/мин (среднее значение \pm среднеквадратичное отклонение), когда размах значений составил 0–13 уд/мин. Отклонение параметра по тесту Блэнда и Альтмана [27] составило $-1 \pm 5,83$ уд/мин.

Зависимость абсолютного средней ЧСС КТГ и БР ФКГ от ИМТ представлена на графике рисунка 2. По полученным данным абсолютное отклонение параметров составило $1,16 \pm 0,74$ уд/мин, где размах отклонения составил 0,1–4,1 уд/мин. Значение теста Блэнда и Альтмана составило $-1 \pm 1,8$ уд/мин.

Рисунок 1. График зависимости абсолютного отклонения БР КТГ и БР ФКГ от ИМТ

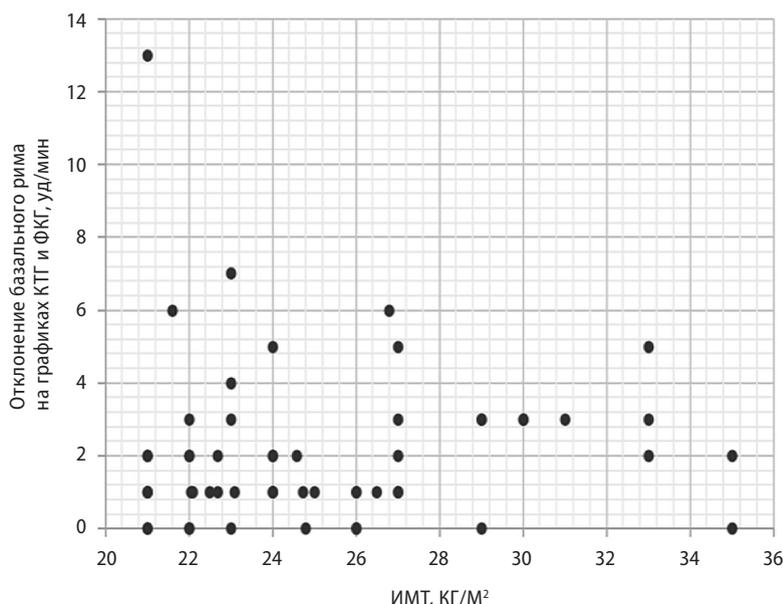


Рисунок 2.
График зависимости абсолютного отклонения средней ЧСС КТГ и БР ФКГ от ИМТ

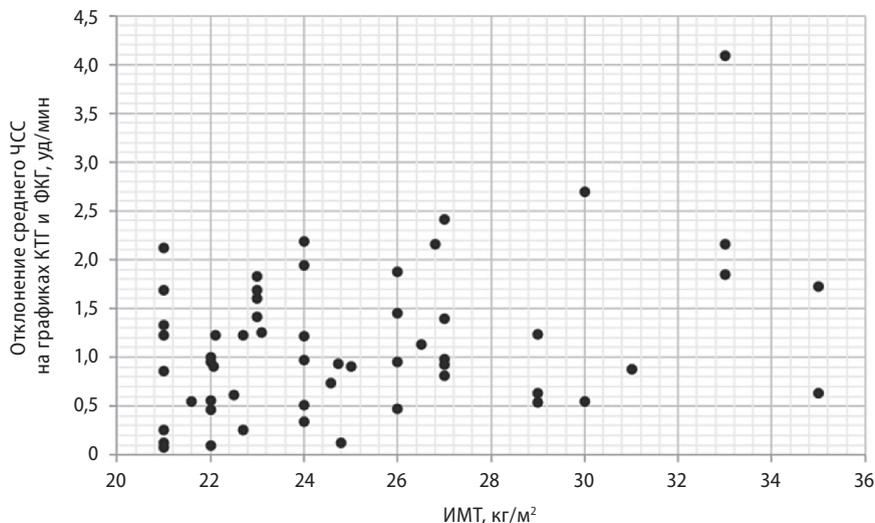
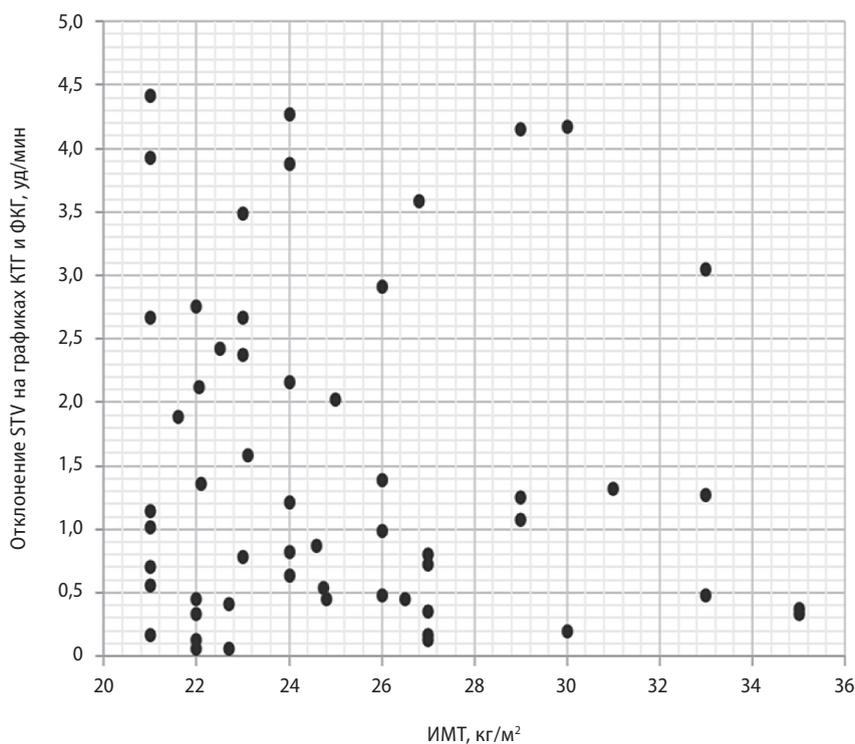


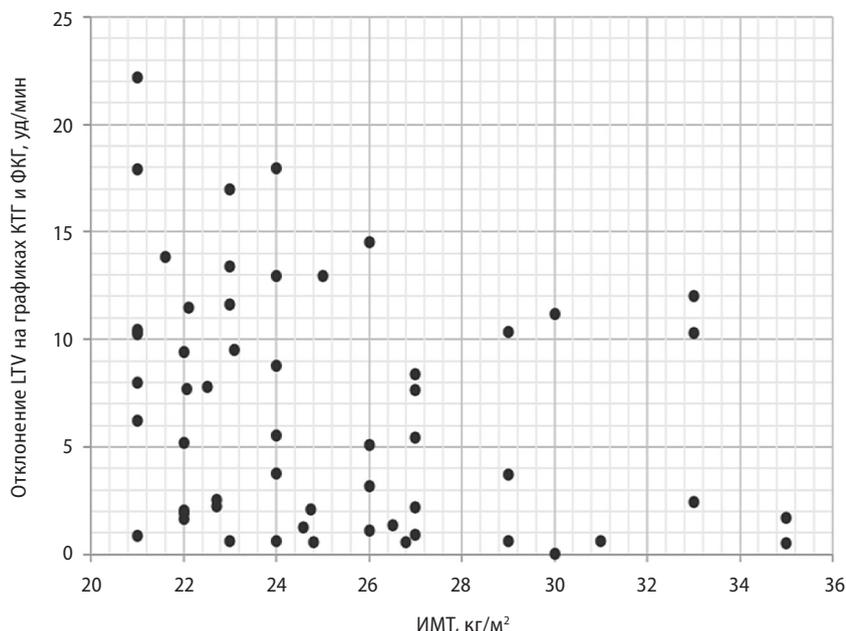
Рисунок 3.
График зависимости абсолютного отклонения STV КТГ и БР ФКГ от ИМТ



На рисунке 3 представлен график зависимости абсолютного отклонения STV КТГ и БР ФКГ от ИМТ. Значение абсолютного отклонения лежит в $1,5 \pm 1,29$ мс с размахом 0,1–4,4 мс. Тест Блэнда и Альтмана – $1 \pm 3,5$ мс.

График абсолютного отклонения LTV КТГ и БР ФКГ от ИМТ представлен на рисунке 4, где параметры выборки составили: $6,7 \pm 5,53$ мс, размах – 0–22 мс.

Рисунок 4.
График зависимости абсолютного отклонения LTV КТГ и БР ФКГ от ИМТ



Обсуждение

Регистрация сердечного ритма плода у женщин с ожирением является значительной проблемой. Помимо того, что повышение массы тела коррелирует со снижением вариабельности и частоты акцелераций, технически запись усложняется за счет особенности распространения звуковых волн в жировой ткани [28]. Скорость распространения звука в слое подкожного жира составляет 1450 м/с. Полупоглощение при частоте 0,8 МГц в жировой ткани происходит на глубине 6,8 см, а при 2–2,4 МГц (частоте, на которой работают фетальные мониторы) интенсивность ультразвука уменьшается вдвое на 1,5 см.[29]. Поскольку степень поглощения зависит от частоты, можно рассчитывать, что регистрация КИГ плода с помощью фонографа, работающего на частоте 5–20 тысяч Герц, будет меньше зависеть от степени ожирения у пациентки. Это подтвердилось в ходе проведенного регрессионного анализа (таблица 1). Зависимость процента потерь от массы тела пациентки при КФГ была меньше, чем при использовании доплерографии.

Проведенный анализ также показал, что присутствует умеренная связь отклонения среднего

ЧСС КТГ и ФКГ от ИМТ ($R=0,36$, при увеличении ИМТ отклонение средней ЧСС растет), а также присутствует слабая связь между ИМТ, корреляцией и согласованием графиков ($R=-0,17$ и $R=-0,1$, при увеличении ИМТ корреляция между графиками падает). На разницу параметров оценки состояния плода (БР $R=0,02$, STV $R=-0,09$ и LTV $R=-0,29$), а также на процент потери сигнала на КТГ и ФКГ зависимость ИМТ влияет слабо ($R=0,06$). В свою очередь умеренное влияние ИМТ на среднее значение ЧСС присутствует ввиду того, что этот параметр рассчитывался только в местах пересечения графиков КТГ и ФКГ, поэтому влияние объема потери сигнала было исключено.

При расчете базального ритма, STV и LTV прослеживается слабая связь с объемом пересечений графиков КТГ и ФКГ (БР $R=-0,27$, STV $R=-0,22$ и LTV $R=-0,31$). То есть на результаты алгоритмов расчета оценочных параметров больше влияет потеря сигнала, чем непосредственно ИМТ. Следует отметить, что к потере сигнала кроме ожирения могут приводить механические помехи, особенности положения и предлежания

Таблица 1.
Регрессионный анализ зависимости рассчитанных параметров от ИМТ и потери сигнала

параметр	коэффициент корреляции Пирона			% пересеч. КТГ и ФКГ
	ИМТ, кг/м ²	% потерь на КТГ	% потерь на ФКГ	
коэффициент корреляции графиков КТГ и ФКГ R,%	-0,17	-0,46	-0,20	0,38
1-RO,%	-0,10	-0,46	-0,24	0,48
Откл. БР, уд/мин	0,02	0,26	0,14	-0,27
Отл. ср. ЧСС, уд/мин	0,36	0,14	-0,01	-0,06
Откл. STV, мс	-0,09	0,25	0,09	-0,22
Откл. LTV, мс	-0,29	0,22	0,13	-0,31
% потерь на КТГ	0,06	-	-	-
% потерь на ФКГ	0,06	-	-	-
% пересечений КТГ и ФКГ	-0,05	-	-	-

плода, поэтому связь с ИМТ может быть не прямой. Учитывая тот факт, что программа обработки КИГ начинает компилировать имеющиеся участки записи с применением определенных

алгоритмов, зависимость реальности картины от количества и продолжительности “пропусков” крайне важна для адекватности оценки состояния плода

Заключение

Таким образом, важность проблемы адекватной регистрации сердечного ритма плода у женщин с патологией ЖКТ, ассоциированной с ожирением основана, в первую очередь, на значимом влиянии метаболических нарушений матери на внутриутробное развитие плода и в целом на перинатальный исход. Проведение длительного непрерывного мониторинга сердечного ритма часто имеет решающее значение в выборе срока родоразрешения в максимально возможном сроке до декомпенсации гомеостаза плода. Среди методов регистрации в антенатальном периоде распространение в перинатальной медицине в настоящее время получили доплерографическая КТГ и абдоминальная ЭКГ. Возможности КТГ при ожирении 2–3 степени ограничены. Оборудование и расходные материалы для непрямого ЭКГ по цене недоступны для массового

использования в бюджетных учреждениях родовспоможения. ФКГ является хорошей перспективной, учитывая бюджетность оборудования и абсолютную безопасность для матери и плода. Проведенное исследование доказало возможность применения метода ФКГ у женщин с ожирением, малую зависимость расчетных параметров кривой КИГ от индекса массы тела. На данном этапе разработки методов можно предложить использование в системах мониторинга оборудование ФКГ при ИМТ менее 35 кг/м², стандартную КТГ при ИМТ более 35 кг/м² и непрямую ЭКГ в случаях крайнего ожирения и невозможности применения первых двух методов. Следует продолжить разработки по созданию новых модификаций фетальных мониторов, основанных на различных принципах регистрации сердечного ритма и построения КИГ.

Литература | References

- Leites Yu.G., Galstyan G. R., Marchenko E. V. Gastroenterological complications of diabetes mellitus. *Consilium medicum Appendix: Gastroenterology* 2007; 2: 25–32. (In Russ.)
Лейтес Ю. Г., Галстян Г. Р., Марченко Е. В. Гастроэнтерологические осложнения сахарного диабета. *Consilium medicum Приложение: Гастроэнтерология* 2007; 2: 25–32.
- Plows J.F., Stanley J. L., Baker P. N., Reynolds C. M., Vickers M. H. The Pathophysiology of Gestational Diabetes Mellitus. *Int J Mol Sci.* 2018 Oct 26;19(11):3342. doi: 10.3390/ijms19113342.
- Alejandro E. U., Mamerto T. P., Chung G., Villavieja A., Gaus N. L., Morgan E., Pineda-Cortel M.R.B. Gestational Diabetes Mellitus: A Harbinger of the Vicious Cycle of Diabetes. *Int J Mol Sci.* 2020 Jul 15;21(14):5003. doi: 10.3390/ijms21145003.
- Lende M., Rijhsinghani A. Gestational Diabetes: Overview with Emphasis on Medical Management. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Dec 21;17(24):9573. doi: 10.3390/ijerph17249573.
- Wani K., Sabico S., Alnaami A. M., et al. Early-Pregnancy Metabolic Syndrome and Subsequent Incidence in Gestational Diabetes Mellitus in Arab Women. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2020 Feb 27;11:98. doi: 10.3389/fendo.2020.00098.
- Rasmussen L., Poulsen C. W., Kampmann U., Smedegaard S. B., Ovesen P. G., Fuglsang J. Diet and Healthy Lifestyle in the Management of Gestational Diabetes Mellitus. *Nutrients.* 2020 Oct 6;12(10):3050. doi: 10.3390/nu12103050.
- Han M. M., Sun J. F., Su X. H., Peng Y. F., Goyal H., Wu C. H., Zhu X. Y., Li L. Probiotics improve glucose and lipid metabolism in pregnant women: a meta-analysis. *Ann Transl Med.* 2019 Mar;7(5):99. doi: 10.21037/atm.2019.01.61.
- Mooi N. M., Ncama B. P. Evidence on nutritional therapy practice guidelines and implementation in adult critically ill patients: A systematic scoping review. *Curationis.* 2019;42(1):1–13. Published 2019 Dec 13. doi:10.4102/curationis.v42i1.1973
- Rasmussen L., Poulsen C. W., Kampmann U., Smedegaard S. B., Ovesen P. G., Fuglsang J. Diet and Healthy Lifestyle in the Management of Gestational Diabetes Mellitus. *Nutrients.* 2020 Oct 6;12(10):3050. doi: 10.3390/nu12103050.
- Mustaniemi S., Väärasmäki M., Eriksson J. G., Gissler M., Laivuori H., Ijäs H., Bloigu A., Kajantie E., Morin-Papunen L. Polycystic ovary syndrome and risk factors for gestational diabetes. *Endocr Connect.* 2018 Jul;7(7):859–869. doi: 10.1530/EC-18–0076.
- Lee J., Ouh Y. T., Ahn K. H., Hong S. C., Oh M. J., Kim H. J., Cho G. J. Preeclampsia: A risk factor for gestational diabetes mellitus in subsequent pregnancy. *PLoS One.* 2017 May 22;12(5): e0178150. doi: 10.1371/journal.pone.0178150.
- Li Y., Ren X., He L., Li J., Zhang S., Chen W. Maternal age and the risk of gestational diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of over 120 million participants. *Diabetes Res Clin Pract.* 2020 Apr;162:108044. doi: 10.1016/j.diabres.2020.108044.
- Alejandro E. U., Mamerto T. P., Chung G., Villavieja A., Gaus N. L., Morgan E., Pineda-Cortel M.R.B. Gestational Diabetes Mellitus: A Harbinger of the Vicious Cycle of Diabetes. *Int J Mol Sci.* 2020 Jul 15;21(14):5003. doi: 10.3390/ijms21145003.
- Wan C. S., Abell S., Aroni R., Nankervis A., Boyle J., Teede H. Ethnic differences in prevalence, risk factors, and perinatal outcomes of gestational diabetes mellitus: A comparison between immigrant ethnic Chinese women and Australian-born Caucasian women in Australia. *J Diabetes.* 2019 Oct;11(10):809–817. doi: 10.1111/1753-0407.12909.

15. Zeng N., Erwin E., Wen W., Corsi D. J., Wen S. W., Guo Y. Comparison of adverse perinatal outcomes between Asians and Caucasians: a population-based retrospective cohort study in Ontario. *BMC Pregnancy Childbirth*. 2021 Jan 5;21(1):9. doi: 10.1186/s12884-020-03467-w.
16. Alejandro E. U., Mamerto T. P., Chung G., et al. Gestational Diabetes Mellitus: A Harbinger of the Vicious Cycle of Diabetes. *Int J Mol Sci*. 2020;21(14):5003. Published 2020 Jul 15. doi:10.3390/ijms21145003.
17. Miao Z., Wu H., Ren L., Bu N., Jiang L., Yang H., Zhang J., Guo X. Long-Term Postpartum Outcomes of Insulin Resistance and β -cell Function in Women with Previous Gestational Diabetes Mellitus. *Int J Endocrinol*. 2020 Feb 26;2020:7417356. doi: 10.1155/2020/7417356.
18. Ehlers E., Talton O. O., Schust D. J., Schulz L. C. Placental structural abnormalities in gestational diabetes and when they develop: A scoping review. *Placenta*. 2021;116:58–66. doi:10.1016/j.placenta.2021.04.005.
19. Bapayeva G., Terzic S., Dotlic J., et al. Pregnancy outcomes in women with diabetes mellitus – the impact of diabetes type and treatment. *Prz Menopauzalny*. 2022 Mar;21(1):37–46. doi: 10.5114/pm.2022.113781.
20. Ehlers E., Talton O. O., Schust D. J., Schulz L. C. Placental structural abnormalities in gestational diabetes and when they develop: A scoping review. *Placenta*. 2021;116:58–66. doi: 10.1016/j.placenta.2021.04.005.
21. ACOG Practice Bulletin No. 190 Summary: Gestational Diabetes Mellitus. *Obstet Gynecol*. 2018 Feb;131(2):406–408. doi: 10.1097/AOG.0000000000002498.
22. Damhuis S. E., Ganzevoort W., Gordijn S. J. Abnormal Fetal Growth: Small for Gestational Age, Fetal Growth Restriction, Large for Gestational Age: Definitions and Epidemiology. *Obstet Gynecol Clin North Am*. 2021 Jun;48(2):267–279. doi: 10.1016/j.ogc.2021.02.002.
23. Clinical guidelines: Normal pregnancy. Moscow. TSENTRMAG Publ., 2020 (in Russ.)
- Клинические рекомендации «Нормальная беременность». М: ЦЕНТРМАГ, 2020.
24. Cohen W. R., Hayes-Gill B. Influence of maternal body mass index on accuracy and reliability of external fetal monitoring techniques. *Acta Obstet Gynecol Scand*. 2014 Jun;93(6):590–5. doi: 10.1111/aogs.12387.
25. Saadia Z. Impact of Maternal Obesity and Mobile Phone Use on Fetal Cardiotocography Pattern. *Open Access Maced J Med Sci*. 2018 Oct 1;6(10):1813–1817. doi: 10.3889/oamjms.2018.405.
26. Wolf H., Bruin C., Dobbe J. G. G., Gordijn S. J., Ganzevoort W. Computerized fetal cardiotocography analysis in early preterm fetal growth restriction – a quantitative comparison of two applications. *J Perinat Med*. 2019 May 27;47(4):439–447. doi: 10.1515/jpm-2018-0412.
27. Bland J. M., Altman D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986 Feb 8;1(8476):307–10. PMID: 2868172.
28. Voegtline K. M., Costigan K. A., Henderson J. L., DiPietro J. A. Fetal heart rate and motor development in overweight and obese pregnant women. *Int J Gynaecol Obstet*. 2016 Apr;133(1):103–7. doi: 10.1016/j.ijgo.2015.08.006.
29. Demin I. Yu., Pronchatov-Rubtsov N. V. Modern acoustic research methods in biology and medicine: educational and methodological materials for the advanced training program “Storage and processing of information in biological systems”. Lower Novgorod. Publishing house of UNN, 2007. 121 p. (In Russ.)
- Демин И. Ю., Прончатов-Рубцов Н. В. Современные акустические методы исследований в биологии и медицине. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Хранение и обработка информации в биологических системах». Нижний Новгород, 2007, 121 с.