

УДК 612.179.2-073.43
<https://doi.org/10.20538/1682-0363-2023-3-141-149>



Мониторирование внутриутробного состояния плода. История вопроса. Новые возможности фонокардиографии

Репина Е.С.¹, Костелей Я.В.^{2,3}, Буреев А.Ш.³, Юрьев С.Ю.^{1,4},
Петров И.А., Тихоновская О.А., Михеенко Г.А.

¹ Сибирский государственный медицинский университет (СибГМУ)
Россия, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2

² Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40

³ Общество с ограниченной ответственностью «Диагностика +»
Россия, 634029, г. Томск, пр. Фрунзе, 11б, офис 407

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

РЕЗЮМЕ

Снижение перинатальной смертности – одна из ключевых проблем современного акушерства. К сожалению, имеющиеся в арсенале у акушеров-гинекологов методы наблюдения за состоянием плода (кардиотокография, доплерометрия) не дают гарантии его благополучного состояния в ближайшей перспективе, а количество проводимых исследований ограничено из соображений безопасности, так как до сих пор не определено влияние ультразвука на развивающийся плод. В связи с этим продолжается изучение альтернативных (не связанных с ультразвуковым излучением) методов получения информации о состоянии плода – фонокардиографии, электрокардиографии. Использование цифровых технологий и математических методов анализа данных существенно расширило возможности фонокардиографии, в том числе реализацию идеи дистанционного мониторинга состояния плода.

В компании ООО «Диагностика +» (г. Томск) разработан программно-аппаратный комплекс FetalCare, предназначенный для круглосуточного мониторинга состояния плода на основе аудиоданных деятельности его сердечно-сосудистой системы. Полученные путем фонокардиографии кардиоинтервалограммы позволяют судить о состоянии плода на основании стандартных критериев оценки: базального ритма, вариабельности, наличия акцелераций и децелераций, STV (short-term variation), LTV (long-term variation). Созданный программно-аппаратный комплекс неинвазивный, сравнительно недорогой, портативный, безопасный в применении для матери и плода.

Ключевые слова: перинатальная смертность, фонокардиография, кардиотокография, дистанционное мониторирование состояния плода

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Репина Е.С., Костелей Я.В., Буреев А.Ш., Юрьев С.Ю., Петров И.А., Тихоновская О.А., Михеенко Г.А. Мониторирование внутриутробного состояния плода. История вопроса. Новые возможности фонокардиографии. *Бюллетень сибирской медицины*. 2023;22(3):141–149. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2023-3-141-149>.

✉ Репина Екатерина Сергеевна, repinaekaterina.ssmu@gmail.com

Monitoring of the intrauterine state of the fetus. Question history. New possibilities of phonocardiography

Repina E.S.¹, Kosteley Y.V.^{2,3}, Bureev A.Sh.³, Yuriev S.Yu.^{1,4},
Petrov I.A., Tikhonovskaya O.A., Mikheenko G.A.

¹ Siberian State Medical University
2, Moscow Trakt, Tomsk, 634050, Russian Federation

² Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
40, Lenina Av., Tomsk, 634050, Russian Federation

³ Diagnostika +, LLC
11b, Frunze Ave., Tomsk, 634029, Russian Federation

⁴ Perinatal Health Center, LLC
9/1, Sibirskaya Str., Tomsk, 634029, Russian Federation

ABSTRACT

The problem of decreasing perinatal mortality is one of the pressing problems in modern obstetrics. Unfortunately, current methods of monitoring the intrauterine state of the fetus that are at the disposal of an obstetrician – gynecologist (cardiotocography, Doppler velocimetry) do not guarantee fetal wellbeing in the near-term outlook, and the number of tests is limited due to safety concerns. Consequently, there is ongoing search for alternative methods of obtaining information about the intrauterine state of the fetus (phonocardiography, electrocardiography). Using IT and mathematical data analysis has considerably enlarged the phonocardiography potential, including implementation of remote monitoring of the fetal health state.

A Tomsk-based company Diagnostika + LCC developed software and hardware appliance FetalCare aimed at 24-hour monitoring of the intrauterine state of the fetus based on audio data on the fetal cardiovascular system. Cardiointervalograms (CIG) obtained by phonocardiography allow to estimate the state of the fetus based on standard assessment criteria: basal heart rate, heart rate variability, presence of accelerations and decelerations, short-term variation (STV), and long-term variation (LTV). The developed appliance is non-invasive, relatively cheap, portable, and safe both for the mother and the fetus.

Keywords: perinatal mortality, phonocardiography, cardiotocography, remote monitoring of the intrauterine state of the fetus

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious or potential conflict of interest related to the publication of this article.

Source of financing. The authors state that they received no funding for the study.

For citation: Repina E.S., Kosteley Y.V., Bureev A.Sh., Yuriev S.Yu., Petrov I.A., Tikhonovskaya O.A., Mikheenko G.A. Monitoring of the intrauterine state of the fetus. Question history. New possibilities of phonocardiography. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2023;22(3):141–149. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2023-3-141-149>.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ведущих проблем современного акушерства остается поиск подходов к снижению перинатальной заболеваемости и смертности. Совершенствование перинатальной службы привело к снижению перинатальной смертности, но показатели мертворождения и неонатальной заболеваемости по-прежнему высокие.

Наиболее высокие показатели неонатальной смертности (2019 г.) регистрируются в странах Африки (до 40,2‰), Западной и Южной Азии (до 40,39‰), наиболее низкие – в Японии (0,86‰), Ев-

ропе (от 1,81‰ в Словении), Австралии (2,36‰) и Новой Зеландии (2,64‰), Канаде (3,18‰), США (3,53‰). По данным на 2019 г., в рейтинге стран по уровню младенческой смертности лидерами являются Исландия – 1,6 случаев (на 1 000 родившихся), Словения – 1,7; Финляндия и Япония – 1,9; Россия занимает 53-е место (6,5) [1].

В Российской Федерации в 2018 г. зафиксировано 11 659 (7,23‰) случаев перинатальной смертности (на 1 000 родившихся живыми и мертвыми), из них 8 894 – это мертворожденные (5,51‰). В 2019 г. показатель снизился до 7,10‰ (в том числе мертворожденные 5,44‰). В 2020 г. перинатальная смерт-

ность незначительно возросла – 7,25% (в том числе 5,67% мертворожденные). В 2021 г. перинатальная смертность – 7,32% (в том числе 5,77% мертворожденные). В Томской области перинатальная смертность в 2018 г. составляла 5,66% (мертворожденные 5,07%), в 2019 – 7,4% (6,22% мертворожденные), 2020 – 7,5% (6,8% мертворожденные), 2021 – 5,76% (мертворожденные 5,24 %). За 4 мес 2022 г. на фоне снижения рождаемости (2 981 ребенок в 2021 г., 2 752 – в 2022 г.) показатели перинатальной смертности и мертворождаемости ухудшились по сравнению с 2021 г.: уровень перинатальной смертности – 6,1%, мертворождаемости – 5,4 % [2–4].

К наиболее частым причинам антенатальной гибели плода относят: внутриутробную гипоксию (43%), внутриутробную инфекцию (20%), диабетическую фетопатию (17%), многоплодную беременность (15%), врожденные пороки развития (5%). С увеличением срока гестации риск мертворождения также снижается: 60,3% случаев в 22–37 нед, 34,8% при сроке 37–40 нед, 4,9% при сроке более 40 нед [5].

Многие отечественные и зарубежные работы посвящены внезапной внутриутробной гибели плода неясного генеза. Попытки объяснить проблему тромбофилическими состояниями, плацентарной недостаточностью, нарушениями развития органов и систем оказываются безрезультатными в половине случаев [6–8]. Более того, в данном случае не работает даже риск-ориентированный подход – 50% случаев внезапной гибели плода зарегистрированы у повторнородящих женщин из группы низкого перинатального риска [9, 10]. Это доказывает, что на данном этапе параллельно с поиском причин и механизмов патогенеза антенатальных потерь следует развивать способы и средства непрерывного мониторинга состояния плода для организации ургентной помощи при появлении маркеров декомпенсации [9, 11–13].

Используемые в настоящее время кардиотокография (КТГ) и доплерография хорошо исследованы, информативны, имеют доказательную базу, но проводятся только в медицинском учреждении, что становится проблематичным в период ежегодных сезонных эпидемий либо периодических пандемий [14], когда следует максимально уменьшить контакты беременных. Внедрение телемедицинских технологий способно решить данную проблему. Ежедневный дистанционный мониторинг состояния плода при наличии факторов риска задержки роста плода (ЗРП) или при наличии ЗРП, начиная с 32-й нед беременности, является оптимальным алгоритмом, позволяющим минимизировать вероятность тяжелого страдания плода или его внутриутробной гибели [13, 15, 16].

Анализ литературы свидетельствует о сохраняющемся интересе к дистанционному мониторингу состояния плода. За рубежом первые исследования с помощью дистанционной фетальной электрокардиографии датируются 1980 г., фетальной фонокардиографии и векторокардиографии – 2008 г., акселометрии – 2011 г. В практическом здравоохранении России в настоящее время нет широко распространенного метода дистанционного мониторинга состояния плода, что объясняется высокой стоимостью импортного оборудования, отсутствием отечественных аналогов, а также неразвитой правовой базой телемедицины. Таким образом, пересмотр стратегии наблюдения за внутриутробным состоянием плода и разработка новых эффективных методов предикции внутриутробной гипоксии плода в настоящий момент являются актуальными.

Цель исследования – проведение анализа литературных данных, касающихся методов наблюдения за состоянием плода в современном акушерстве.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И ТАКТИКА НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВНУТРИУТРОБНЫМ СОСТОЯНИЕМ ПЛОДА

В настоящее время для диагностики состояния плода доступны следующие методы: выслушивание сердцебиения плода с помощью акушерского стетоскопа, кардиотокографическое исследование, ультразвуковая доплерометрия фетоплацентарного комплекса, актография. За исключением актографии, все другие методы исследования требуют посещения лечебного учреждения и привлечения специалистов.

Согласно клиническому протоколу «Нормальная беременность», утвержденному Минздравом РФ в 2020 г., объем наблюдения за состоянием плода включает опрос относительно шевелений плода, ведение гравидограммы и выслушивание частоты сердечных сокращений (ЧСС) плода при каждом визите после 20 нед, а также КТГ с 33-й нед беременности кратностью 1 раз в 2 нед. При отклонении данных гравидограммы (высота стояния дна матки менее 10 или более 90 перцентилей), изменении характера шевелений плода, фиксации тахи- или брадикардии требуется проведение дополнительных ультразвуковых исследований и КТГ.

При выраженной задержке роста плода с предполагаемой массой менее 3-го перцентилей в отсутствие нарушений доплерографических показателей и маловодия рекомендовано родоразрешение в срок 36–38 нед беременности [17]. До данного срока показаниями для госпитализации в стационар 3-го уровня являются: ин-

версия доплерографических показателей, появление маловодия или нарушений состояний плода, зафиксированное с помощью кардиотокографии.

Наиболее значимыми маркерами внутриутробной гипоксии плода названы нарушение двигательной активности плода и патологические изменения КТГ. Возникает довольно длительный период амбулаторного наблюдения, при котором рекомендовано проведение КТГ 1–2 раза/нед. При увеличении кратности мониторинга эффективность алгоритма будет увеличиваться, но такая нагрузка может быть чрезмерной для многих лечебных учреждений. Мониторинг становится невыполнимым в периоды сезонного подъема заболеваемости острой риновирусной инфекцией и гриппом, эпидемий, пандемий или при отдаленном проживании женщины от лечебного учреждения.

АКТОГРАФИЯ

Функциональное развитие плода отражается в изменениях паттернов фетальной активности [16, 18–20]. Движения – проявление ранней нейронной активности, спонтанно сгенерированное центральной нервной системой. Характер движения определяется метаболическим состоянием плода и его неврологическим развитием. Уменьшение или изменение характера шевелений плода может являться признаком нарушения его внутриутробного состояния, а полное отсутствие движений – признаком гибели.

Актография (подсчет шевелений плода самой женщиной) – доступный, бесплатный, но субъективный и недостаточно информативный метод наблюдения за состоянием плода. Подсчет шевелений и выслушивание ЧСС плода были основными способами оценки его состояния вплоть до середины XX в., когда стали появляться исследования по фонокардиографии и электрокардиографии плода [21].

По данным Кокрановских обзоров [22, 23], в пяти исследованиях с участием 71 458 женщин сравнивали количество ежедневных шевелений плода и их отсутствие. Доказано (с низким уровнем достоверности), что ежедневная актография имеет незначительный эффект или не влияет на частоту кесарева сечения (1 076 женщин; относительный риск (ОР) 0,93; 95%-й доверительный интервал (ДИ) 0,60–1,44), применение акушерских щипцов или вакуум-экстракции (1 076 женщин; ОР 1,04; 95%-й ДИ 0,65–1,66). В то же время ежедневный подсчет шевелений плода снижает среднюю оценку тревожности у будущей матери (1 013 женщин; стандартизованная РС 0,22, 95%-й ДИ (–0,35)–(–0,10)). Доказано, что ежедневная актография плода может иметь незначительный эффект или не влияет на частоту преждевремен-

ных родов (1076 новорожденных; ОР 0,81; 95%-й ДИ 0,46–1,46). Также в данных исследованиях отмечено, что подсчет шевелений плода увеличивает частоту выполнения КТГ и госпитализаций с целью наблюдения за состоянием плода [23].

С 2011 г. ведутся разработки устройств для мониторинга движений плода (акселометров) в течение суток и дистанционно [13, 16]. В настоящее время в России разрабатывается система регистрации фетальной активности, состоящая из датчиков движения (фиксируют вибрации, вызываемые движением плода) и регистратора [16]. В результате исследования на экране представлен подсчет количества шевелений вне зависимости от амплитуды движений.

КАРДИОТОКОГРАФИЯ

Исследование сердечной деятельности плода, по сравнению с актографией, стало перспективным направлением ввиду большей информативности. Доказано, что при развитии гипоксии, вызванной различными эндо- и экзогенными причинами, характер сердечной деятельности меняется в первую очередь [11, 19].

Сердечная деятельность – важный индикатор антенатального состояния, и именно с исследования сердечной деятельности началось систематическое изучение функционального состояния плода. Работа сердца находится под контролем центральной и периферической нервной системы. Нарушение оксигенации нервной системы приводит к изменению характера импульсов к сердцу, а следовательно, и частоты сердечных сокращений [11].

Исследование сердечного ритма плода началось в 1818 г. с открытия швейцарского ученого Francois Maug, который с помощью выслушивания сердцебиений плода через переднюю брюшную стенку матери предложил определять, жив плод или нет. Следующим этапом стало выслушивание сердцебиения плода стетоскопом, предложенное J. Kargaradec. Впервые было сделано заключение, что внутриутробное состояние плода зависит от характера сердечной деятельности. В 1906 г. М. Кремер первым зарегистрировал электрокардиограмму (ЭКГ) плода через брюшную стенку матери.

Основатель метода электронного мониторинга состояния плода Edvard Hon (США) в 1950 г. сообщил о новом принципе обработки результатов исследования плодовой ЭКГ, зарегистрированной через переднюю брюшную стенку матери. Принцип такой обработки заключался в измерении каждого R-R-интервала, а затем с помощью математических расчетов вычислялась мгновенная частота сердечных сокращений и отражалась в виде графика.

Кардиотокография, основанная на эффекте Доплера, была внедрена в клиническую практику с начала 70-х гг. XX в. и широко применяется в настоящее время. Электронная система кардиомонитора преобразует изменения каждого R-R-интервала в мгновенную частоту его сердечных сокращений – ЧСС (уд/мин) [11]. Изначально были разработаны параметры для визуальной оценки сердечной деятельности плода, позднее предложены шкалы для оценки результатов КТГ в баллах, из которых наиболее известны Fischer (1976), модифицированная Шкала Krebs, шкала международной ассоциации акушеров-гинекологов (1987). Следует отметить, что применение данной методики позволило повысить точность правильной оценки состояния плода только до 73–76%. В 1970 г. G. Dawes и C. Redman сообщили о начале разработки программы автоматического анализа данных КТГ, основанной на определении variability коротких отрезков (short term variability, STV) в масштабе реального времени. При автоматизированном анализе КТГ по методу Доуса – Редмана точность оценки внутриутробного состояния плода составляет, по данным литературных источников, 83,6% (E.R. Guzman и соавт., 1996), 72,8% (A.M. Vintzileos и соавт., 1993), 67,8% (Е.В. Поплавская, 2005) [24].

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ультразвуковая фетометрия четко регистрирует задержку роста плода. Описание плаценты способно выявить ранние доклинические стадии плацентарной недостаточности, но в качестве изолированного маркера плацентометрия обладает крайне низкой специфичностью. Оценка количества и качества околоплодных вод важна в диагностике антенатальной гипоксии, поскольку выраженные изменения параметров амниотической жидкости служат непрямым показателем перфузии почек и состояния сосудов микроциркуляторного русла плода [19, 25, 26].

Допплерография бассейна маточной артерии, сосудов пуповины и внутриплодового кровотока стала рутинным методом исследования в акушерстве. Сочетание доплерографии с КТГ позволяет повысить эффективность диагностики состояния плода.

Нулевой или отрицательный диастолический кровоток – это нарушение компенсаторно-приспособительных реакций плода, оно проявляется в централизации кровообращения, развитии синдрома диссеминированного внутрисосудистого свертывания с вазоконстрикцией сосудов органов желудочно-кишечного тракта и почек, что приводит

к их тяжелым ишемическим поражениям. После рождения ребенка такие повреждения клинически проявляются некротическим энтероколитом, олигоанурией, гематурией, протеинурией и внутричерепными кровоизлияниями, неврологическими осложнениями, респираторным дистресс-синдромом [19]. Интервал от момента регистрации критических показателей кровотока в артерии пуповины до смерти плода варьирует в широких пределах – от 0 до 71 сут [19].

В настоящее время при критических нарушениях кровотока, помимо определения пульсационного индекса артерии пуповины, рекомендовано исследование кровотока средней мозговой артерии, венозного протока, определение церебро-плацентарного отношения [17]. Кратность и объем проводимых мероприятий для наблюдения за состоянием плода зависят от степени нарушений кровотока. В то же время применение методов, основанных на эффектах Доплера (УЗИ, КТГ), ограничено из соображений безопасности, так как до сих пор не определено влияние ультразвука на развивающийся плод [27, 28]. Согласно принципу ALARA (AsLow AsReasonably Achievable), исследование должно проводиться только по медицинским показаниям, чтобы обеспечить минимальное воздействие за минимальный промежуток времени для получения адекватного результата [25, 29]. Исходя из этого, длительное использование доплерометрии для динамического наблюдения за состоянием плода нецелесообразно.

ФОНОКАРДИОГРАФИЯ

В конце XIX в. впервые была зарегистрирована сердечная деятельность плода с помощью фонокардиографии (ФКГ) (метод исследования деятельности сердца и его клапанного аппарата на основании регистрации и анализа звуков, возникающих при сокращении и расслаблении сердца). В 1891 г. E. Pestalozza на X Международном медицинском конгрессе в Берлине продемонстрировал первые фонограммы. В России в середине 1950-х гг. в НИИ акушерства и гинекологии АМН СССР под руководством профессора Н.Л. Гармашевой впервые в мире был сконструирован фонокардиограф, позволяющий одновременно фиксировать сердечный ритм плода и сократительную активность матки [30]. Основные элементы фонокардиографа – микрофон, преобразующий звуковые колебания в электрические; частотные фильтры, совмещенные с усилителями поступающих от микрофона сигналов; регистрирующее устройство. Использование разных типов микрофонов (линейного, стетоскопического, логарифмиче-

ского) и полосовых фильтров позволяет выделить диагностически значимые звуковые феномены, регистрировать звуковые колебания как в полном, так и в специально избранном диапазоне частот.

В начале 60-х гг. XX в. Л.С. Персианинов с коллективом авторов [31] исследовали метод совместного использования фоно- и электрокардиографии, применяя данную методику для диагностики острой гипоксии во время родов и выявления нарушений ритма сердца плода. Оценка достоверности этих исследований, выполненная В.Н. Демидовым и А.А. Аристовым, показала, что метод фонокардиографии в 80% случаев может указать на хроническую гипоксию плода (на ЭКГ и ФКГ наблюдается снижение амплитуды тонов и вольтажа комплекса QRS, уменьшение продолжительности механической систолы и появление изоаритмии). В 71% случаев этот метод может предположить патологию пуповины (обвитие пуповиной, истинный узел, оболочечное прикрепление) [32]. Метод ФКГ более 10 лет использовался в ряде учреждений страны, но не получил дальнейшего распространения в связи с отсутствием возможности математической обработки данных для анализа адекватности кардиоинтервалограммы и, соответственно, программно-аппаратного комплекса для организации системы мониторинга.

В последние годы активно развиваются цифровые технологии и внедряются математические методы анализа данных, что существенно расширяет возможности фонокардиографии. Разработка этого метода в качестве альтернативы ультразвуковой кардиографии признается актуальной [12, 13]. Сегодня ФКГ активно используется в кардиологии для диагностики сердечной недостаточности, пороков сердца, легочной гипертензии. Обсуждаются новые подходы к диагностике ишемической болезни сердца с помощью ФКГ. Приводятся данные о проектах по использованию этого метода для скрининга сердечно-сосудистых заболеваний [33].

Такие достоинства, как неинвазивность, безопасность и сравнительно недорогое оборудование, создают предпосылки для успешного применения ФКГ в условиях современной перинатальной медицины.

Учитывая опыт изучения и применения фонокардиографии при записи и интерпретации звуков сердца плода, можно ожидать несколько проблем. На величину и амплитуду сигнала влияют срок беременности, толщина подкожно-жировой клетчатки, положение плода и плаценты, циклы дыхания матери. Более частая, чем при КТГ, потеря сигнала или изменение его амплитуды объясняется изменением положения, вида, позиции плода, силы при-

жатия датчика к передней брюшной стенке матери. Большое количество сторонних звуков со стороны матери (пульсация брюшной аорты, маточных артерий, дыхательные движения, звуки, исходящие из органов пищеварения) и плода (движения плода, дыхательные движения) создают трудности при фильтрации сигнала. Особенности системы кровообращения плода (открытое овальное окно, артериальный проток между легочным стволом и дугой аорты, отсутствие легочного круга кровообращения) изменяют картину фонокардиограммы [11, 26].

Таким образом, основная задача адаптации фонокардиографии в акушерской практике заключается в разработке алгоритмов подавления сторонних шумов и построении адекватной кардиоинтервалограммы, на основании которой можно сделать заключение о внутриутробном состоянии плода.

В России ведутся успешные разработки оборудования на основе фонографии. Так, компанией ООО «Диагностика +» (г. Томск) создан программно-аппаратный комплекс FetalCare, предназначенный для круглосуточного мониторинга состояния плода [34–37]. После захвата акустических данных происходит их первичная обработка с целью повышения качества выраженности звуков. Результат предварительной обработки ФКГ поступает в алгоритм определения подобных тонам сердца звуков, который формирует усиленный для выслушивания аудиосигнал и результаты сегментации потенциальных тонов сердца на ФКГ. Данный алгоритм отличается от существующих методов повышенной точностью детектирования сигналов в условиях изменения их амплитуды. Для повышения надежности задействованы внешние алгоритмы классификации результатов их сегментации на типы тонов сердца. По завершению исследования график потенциальных R-R-интервалов обрабатывается алгоритмом построения кардиоинтервалограммы. Результаты исследования формируются в виде отчета в формате PDF (Portable Document Format) [34–37]. В настоящее время на основе данного оборудования создается программное обеспечение системы медико-технической поддержки врача и беременной. Рабочее место врача может существовать в виде отдельной программы или стать элементом медицинской информационной системы лечебного учреждения. Телемедицинский модуль на основе искусственного интеллекта поможет дифференцировать технические и медицинские проблемы в ходе исследования с выдачей тревожного сигнала при наличии критических параметров и рекомендаций при часто встречающихся вопросах.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ФКГ. КАРДИОИНТЕРВАЛОГРАММА

Основная составляющая оценки сердечного ритма плода, ребенка, взрослого человека – отрезок времени между двумя ударами сердца. Кардиоинтервалография позволяет получать интегральную оценку кардиорегуляции при минимальном количестве изучаемых параметров: базального ритма, вариабельности, наличии акцелераций и децелераций. Неважно, каким методом ритм зафиксирован, поскольку при анализе фонокардиограммы так же, как и при КТГ, используются стандартные параметры кардиоинтервалограммы, т. е. для фонокардиографии применяются стандартизированные шкалы оценки состояния плода, разработанные для КТГ.

Выполняется анализ следующих стандартных интегральных показателей. *Базальный ритм* – показатель взаимодействия парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы (в ранние сроки беременности доминирует симпатический отдел, поэтому ЧСС плода выше; при достижении определенной зрелости парасимпатической системы между ними устанавливается баланс и средняя ЧСС снижается).

Вариабельность (неравномерность) сердечного ритма – результат взаимодействия парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы. Разница в продолжительности кардиоинтервалов в среднем составляет 20–30 мс (или 2–3 уд/мин). Отклонения в ЧСС, возникающие от удара к удару и имеющие определенную направленность и амплитуду, проявляются на КТГ в виде осцилляций сердечного ритма. Вариабельность базального ритма характеризуется кратковременными и пролонгированными осцилляциями.

Мгновенные осцилляции (кратковременная вариабельность, STV) отражают различия частот, рассчитанных в среднем за каждую шестнадцатую часть минуты. STV контролируется парасимпатическим отделом вегетативной нервной системы, измеряется в миллисекундах и является чувствительным индикатором степени оксигенации тканей плода. Оценить и интерпретировать STV возможно только при компьютерной обработке записи. Предиктивное значение STV продолжает обсуждаться и подтверждено, к примеру, в когортном анализе 28 тыс. срочных родов в Великобритании [38].

Противоположные результаты получены в оригинальном проспективном исследовании TRUFFLE, где оценивалось, может ли на ранних стадиях задержки роста плода использование низкого показателя

STV в сочетании с определением доплеровского пульсационного индекса в венозном протоке улучшить двухлетнюю выживаемость младенцев без неврологических нарушений по сравнению с компьютерной кардиотокографией только с расчетом STV. Итогом исследования стала клиническая рекомендация не проводить преждевременное родоразрешение при снижении STV до тех пор, пока кровоток в венозном протоке остается в норме, поскольку подобный алгоритм не улучшал прогноза [39].

Пролонгированные осцилляции (пролонгированная вариабельность, long term variation, LTV) – циклические изменения базальной ЧСС с эпизодичностью 3–5 циклов в минуту при амплитуде, составляющей в среднем 5–20 уд/мин, которые зависят от состояния плода и контролируются симпатическим отделом. Изменения пролонгированных осцилляций являются индикатором оксигенации плода и его компенсаторных реакций на стресс [40].

STV и LTV меняются в условиях снижения уровня кислорода в крови. При развитии гипоксемии сначала несколько увеличивается вариабельность (так как в условиях кислородного голодания активируется кора надпочечников, давление несколько повышается и развивается ответная реакция на сигналы барорецепторов), далее при нарастании гипоксемии и присоединении ацидемии вариабельность снижается в связи с подавлением функции ЦНС. STV реагирует на гипоксию раньше, чем LTV.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в акушерстве не существует единственного, лучшего, оптимального метода постоянного мониторинга внутриутробного состояния плода. В одном из выводов упомянутого выше исследования TRUFFLE доказана недостаточность ежедневной стандартной записи КТГ в группе высокого риска антенатальной потери. Мониторинг состояния плода на основе фонокардиографии может стать тем недостающим звеном, которое позволит снизить перинатальную смертность. Безусловно, фонокардиограмма – это больше, чем просто кардиоинтервалограмма. Еще предстоит доказать предсказательную ценность фонокардиограмм при различных степенях страдания плода, клиническую идентичность анализа доплерограмм и фонокардиограмм. Усилия будут оправданы, если объединение акустики и математического анализа позволит раскрыть возможности предиктивной перинатальной медицины.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hug L., Sharrow D., You D., Levels & Trends in Child Mortality: Report 2019 United Nations International Children's

- Emergency Fund; 2019. URL: <https://childmortality.org/data/World>.
2. Федеральная служба государственной статистики. Естественное движение населения Российской Федерации за 2020 г. Статистический бюллетень.
 3. Щербакова Е.М. Демографические итоги I полугодия 2019 года в России (часть II). М: Демоскоп Weekly; 8 сентября 2019 (дата обращения 20.07.2022) URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2019/0823/barom01.php>
 4. Щербакова Е.М. Демографические итоги I полугодия 2021 года в России (часть II). М: Демоскоп Weekly; 20 сентября 2021 (дата обращения 20.07.2022) URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2021/0911/barom01.php>
 5. Туманова В.А., Барина И.В. Проблема антенатальных потерь. *Российский вестник акушера-гинеколога*. 2009;9(5):39–45.
 6. Матрохина Г.В. Антенатальная гибель доношенного плода: факторы риска, возможности телемедицины в ее прогнозировании. *Бюллетень медицинской науки*. 2019;4(16):24–25.
 7. Барина И.В., Котов Ю.Б., Кондриков Н.И. Клинико-морфологическая характеристика фетоплацентарного комплекса при антенатальной смерти плода. *Российский вестник акушера-гинеколога*. 2013;13(3):14–19.
 8. Коротова С.В., Фаткуллина И.Б., Намжилова Л.С., Ливан-Хай А.В., Борголов А.В., Фаткуллина Ю.Н. Современный взгляд на проблему антенатальной гибели плода. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2014;130(7):5–10.
 9. Курцер М.А., Кутакова Ю.Ю., Сонгорова Е.Н., Белоусова А.В., Каск Л.Н., Чемезов А.С. Синдром внезапной смерти плода. *Акушерство и гинекология*. 2011;7:79–83.
 10. Савельева Г.М., Сичинава Л.Г., Курцер М.А., Панина О.Б. Пути снижения перинатальной заболеваемости и смертности. *Российский медицинский журнал*. 1999;2:4–10.
 11. Макаров И.О., Юдина Е.В. Кардиотокография при беременности и в родах: учебное пособие для системы послевузовского и дополнительного проф. образования врачей. 2-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2013;109.
 12. Tang H., Li T., Qiu T., Park Y. Fetal heart rate monitoring from phonocardiograph signal using repetition frequency of heart sounds. *Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2016;2016(1):1–6. DOI: 10.1155/2016/2404267.
 13. Tamber K.K., Hayes D.J.L., Carey S.J., Wijekoon J.H.B., Heazell A.E.P. A systematic scoping review to identify the design and assess the performance of devices for antenatal continuous fetal monitoring. *PLoS One*. 2000;15(12):e0242983.1–37. DOI: 10.1371/journal.pone.0242983.
 14. Заболеваемость и смертность от гриппа в России. Статистика России и мира – информация и показатели; 31 марта 2022 (дата обращения 20.07.2022) URL: <https://rosinfostat.ru/smertnost-ot-grippa/#i-5>
 15. Filipenko K.V., Kapranova O.N., Bobrova Y.O. The Algorithm for Fetal Activity Signal Processing. 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus).2021 January 26–29; St. Petersburg, Moscow, Russia, IEEE; 2021 April 09. 1739–1743. DOI: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396601.
 16. Bobrova Y.O., Kapranova O.N., Filipenko K.V. Mathematical methods of fetal activity signal processing. 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 2020 January 27–30; St. Petersburg and Moscow, Russia, IEEE; 2021 March 19. 1491–1494. DOI: 10.1109/ElConRus49466.2020.9039061.
 17. Клинические рекомендации «Недостаточный рост плода, требующий предоставления медицинской помощи матери (задержка роста плода)». М: ЦЕНТРМАГ, 2022:58.
 18. Доброхотова Ю.Э., Джохадзе Л.С., Кузнецов П.А., Козлов П.В. Плацентарная недостаточность. Современный взгляд. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2019;64.
 19. Стрижаков А.Н., Игнатко И.В., Тимохина Е.В., Карданова М.А. Критическое состояние плода: диагностические критерии, акушерская тактика, перинатальные исходы. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2019:176.
 20. Казанцева Н.В., Изранов В.А. Значение исследований поведения плода для прогноза психоневрологического развития. *Вестник Балтийского федерального университета им И. Канта*. 2016;2:39–47.
 21. Грищенко В.И., Яковцова А.Ф. Антенатальная смерть плода. М.: Медицина, 1978:280.
 22. Mangesi L., Hofmeyr G.J., Smith V., Smyth R.M.D. Fetal movement counting for assessment of fetal wellbeing. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2015;2015(10) :CD004909. DOI: 10.1002/14651858.CD004909.pub3.
 23. WHO recommendations on antenatal care for a positive pregnancy experience: executive summary. World Health Organization, 2016 (cited 2022 July 20;172) URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549912>
 24. Демидов В.Н., Розенфельд Б.Е., Сигизбаева И.К. Значение одновременного использования автоматизированной кардиотокографии и ультразвуковой доплерометрии для оценки состояния плода во время беременности. *SonoAce-Ultrasound*. 2001;9:73–80.
 25. Труфанов Г.Е., Иванова Д.О., Рязанов В.В. Практическая ультразвуковая диагностика: руководство для врачей: в 5 т. Т 4. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017:184.
 26. Савельева Г.М., Сухих Г.Т., Серова В.Н., Радзинский В.Е. Акушерство: национальное руководство. 2-е изд. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018:1088.
 27. Gailter. H. The safe use of ultrasound in medical diagnosis. London: The British Institute of Radiology, 2012:166.
 28. Salvesen K.A., Vatten L.J., Eik-Nes S.H., Hugdahl K., Bakketeig L.S. Routine ultrasonography in utero and subsequent handedness and neurological development. *BMJ*. 1993;307(6897):159–164. DOI: 10.1136/bmj.307.6897.159.
 29. Радзинский В.Е. Акушерская агрессия v. 2.0. М.: Status Praesens, 2017:872.
 30. Константинова Н.Н., Павлова Н.Г. Развитие представлений об универсальных гемодинамических реакциях в функциональной системе «мать – плацента – плод». *Журнал акушерства и женских болезней*. 2004;1:27–30.
 31. Персианинов Л.С. Клиническое значение современных методов исследования плода. *Казанский медицинский журнал*. 1966;47(1):5–10.
 32. Аристов А.А. Ранняя диагностика угрожаемых состояний плода при некоторых формах акушерской и экстрагени-

- тальной патологии: автореф. дис... канд. мед. наук. М., 1975:15.
33. Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Юрасова Е.С., Комлев А.Е., Имаев Т.Э. Фонокардиография: новые возможности в свете цифровых технологий. *Кардиологический вестник*. 2018;13(2):15–21. DOI: 10.17116/Cardiobulletin 201813215.
 34. Костелей Я.В., Жданов Д.С., Боровской И.Г. Адаптация фильтра нелокального усреднения для усиления звуков тонов сердца на фонокардиограммах человека и плода. *Вестник СибГУТИ*. 2021;3:77–91.
 35. Zhdanov D.S., Bureev A.S., Kostelei Y.V., Khokhlova L.A., Dikman E.Yu. A Mobile device for assessing fetal status based on monitoring cardiovascular system parameters. *Biomedical Engineering*. 2018;52(2):87–91. DOI: 10.1007/s10527-018-9789-9.
 36. Костелей Я.В. Алгоритм определения пульса на фонокардиограмме человека и плода без классификации тонов сердца. *Моделирование, оптимизация и информативные технологии*. 2022;10(1(36)). DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.018.
 37. Zhdanov D.S., Zemlyakov I.Y., Kostelei Y.V., Bureev A.Sh. Choice of wavelet filtering parameters for processing fetal phonocardiograms with high noise level. *Biomed. Eng.* 2021;55:194–198. DOI: 10.1007/s10527-021-10100-3.
 38. Lovers A.A.K., Ugwumadu A., Georgieva A. Cardiocography and Clinical Risk Factors in Early Term Labor: A Retrospective Cohort Study Using Computerized Analysis With Oxford System. *Front. Pediatr.* 2022;10:784439. DOI: 10.3389/fped.2022.784439.
 39. Wolf H., Arabin B., Lees C.C., Oepkes D., Prefumo F., Thilaganathan B. et al. Longitudinal study of computerized cardiotocography in early fetal growth restriction. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2016;50(1):7178. DOI: 10.1002/uog.17215.
 40. Queenan J.T., Hobbins J.C., Spong C.Y. Protocols for high-risk pregnancies: an evidence-based approach. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2020:672.

Информация об авторах

Репина Екатерина Сергеевна – ассистент, кафедра акушерства и гинекологии, СибГМУ, г. Томск, repinaekaterina.ssmu@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2881-6135>

Костелей Яна Валерьевна – ст. преподаватель, кафедра экономической математики, информатики и статистики, ТУСУР; инженер-программист, ООО «Диагностика +», г. Томск, iانا.v.kostelei@tusur.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0775-350X>

Буреев Артем Шамильевич – директор ООО «Диагностика +», г. Томск, artem_bureev@mail.ru

Юрьев Сергей Юрьевич – д-р мед. наук, профессор, кафедра акушерства и гинекологии, СибГМУ; директор ООО «Центр перинатального здоровья», г. Томск, sergeiyuriev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1343-5471>

Петров Илья Алексеевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры акушерства и гинекологии, Сибирский государственный медицинский университет, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, д. 2, 8-952-899-83-66, obgynsib@gmail.com, ORCID 0000-0002-0697-3896

Тихоновская Ольга Анатольевна, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры акушерства и гинекологии, Сибирский государственный медицинский университет, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, д. 2, 8-913-820-04-36, tikhonovskaya2012@mail.ru, ORCID 0000-0003-4309-5831

Михеенко Галина Александровна, доктор медицинских наук, профессор кафедры акушерства и гинекологии, Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия, ул. Московский тракт, д. 2, 8-903-954-70-50, mchnk@mail.ru, ORCID 0000-0002-3869-1906

(✉) **Репина Екатерина Сергеевна**, repinaekaterina.ssmu@gmail.com

Поступила в редакцию 01.09.2022;
одобрена после рецензирования 28.11.2022;
принята к публикации 16.02.2023