

ТАЕВА
Ульяна Евгеньевна

специалитет, Петрозаводский государственный
университет (Петрозаводск, Россия),
taevaullyana@gmail.com

КАРДИОТОКОГРАФИЯ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ АСФИКСИИ: ПРЕДИКТИВНАЯ ЦЕННОСТЬ И РОЛЬ КЛИНИЧЕСКОГО КОНТЕКСТА

Научный руководитель:

Ившин Александр
Анатольевич

Рецензент:

Болдина Юлия Сергеевна

Статья поступила: 28.09.2026;

Принята к публикации: 28.09.2026;

Размещена в сети: 28.09.2026.

Аннотация. Субъективность визуальной интерпретации кардиотокографии ограничивает надёжность интранатального мониторинга плода. Цель – оценить предиктивную ценность интерпретации КТГ по классификации FIGO и роль меконияльного окрашивания околоплодных вод в прогнозировании асфиксии новорождённого. В ретроспективном когортном исследовании (n=9981) выполнены ROC-анализ и конвергентная валидация. AUROC составила 0,595; парадокс лечения и эффект базовой частоты занижают наблюдаемую ассоциацию. Данные обосновывают автоматизированную интерпретацию КТГ как инструмент поддержки врачебных решений.

Ключевые слова: кардиотокография, классификация FIGO, асфиксия новорождённого, предиктивная ценность, конвергентная валидация, меконияльное окрашивание околоплодных вод, парадокс лечения, эффект базовой частоты, машинное обучение, система поддержки принятия врачебных решений

Благодарности. Исследования, описанные в данной работе, были проведены в рамках проекта «Разработка программно-аппаратного комплекса, интегрирующего модель машинного обучения для распознавания паттернов кардиотокографии (КТГ) с веб-сервисом для загрузки данных», поддержанного в рамках Программы поддержки НИОКР студентов, аспирантов и лиц, имеющих учёную степень, обеспечивающих значительный вклад в инновационное развитие отраслей экономики и социальной сферы Республики Карелия, в 2026 году, финансируемой Правительством Республики Карелия (Договор №1-Г25 от 26.12.2025 между «Петрозаводский государственный университет» и Фондом венчурных инвестиций Республики Карелия).

Для цитирования: Таева У. Е. Кардиотокография в прогнозировании асфиксии: предиктивная ценность и роль клинического контекста // StudArctic Forum. 2026. Т. 11, № 3. С. 71–78.

Неблагоприятные перинатальные исходы, обусловленные интранатальной гипоксией плода, в том числе асфиксия новорождённого, представляют одну из ключевых проблем современного акушерства. Основным инструментом мониторинга гипоксии в родах служит кардиотокография (КТГ) – метод непрерывной регистрации частоты сердечных сокращений плода и сократительной активности матки, обеспечивающий врача информацией о состоянии плода в режиме реального времени. Трёхуровневая классификация Международной федерации гинекологии и акушерства – нормальный, сомнительный и патологический тип – задаёт стандартный алгоритм интерпретации КТГ-записей в интранатальном периоде [Ayres-

de-Campos: 3].

Тем не менее разрыв между потенциалом метода и его реальной предиктивной эффективностью остаётся существенным. Доказательная база КТГ, накопленная в рандомизированных исследованиях, оказалась неожиданно скромной: ни антенатальное, ни интранатальное применение метода не продемонстрировало устойчивого снижения частоты перинатальной смертности или неонатальной ацидемии [Grivell: 3]; [Al Wattar: 3]. При этом использование непрерывной КТГ сопряжено с достоверным ростом частоты оперативных родоразрешений без очевидного улучшения перинатальных исходов [Vejuh: 3].

Объяснение этого парадокса кроется в субъективности визуальной оценки КТГ-записей. Исследования фиксируют лишь слабое и умеренное межоператорное согласие даже среди опытных специалистов [Ben M'Barek: 4]; [Neri: 4]: один и тот же КТГ-паттерн получает разные оценки в зависимости от того, кто его читает. Проблема, таким образом, не в самом сигнале, а в том, как человек его воспринимает и интерпретирует. Дополнительную возможность для оценки клинической состоятельности метода предоставляет мекониальное окрашивание околоплодных вод (МООВ). Это независимый маркер интранатальной гипоксии и, если КТГ действительно отражает гипоксию, она должна коррелировать с его частотой.

Это наблюдение формирует исследовательский вопрос: какова реальная предиктивная ценность визуальной интерпретации КТГ по классификации FIGO для прогнозирования асфиксии новорождённого и способен ли учёт дополнительных клинических данных повысить точность прогноза? Мы предположили, что визуальная оценка обеспечивает лишь ограниченную дискриминацию, но не потому, что КТГ-сигнал малоинформативен, а потому, что визуальный метод не позволяет извлечь из него достаточно информации. Дополнительно проверялась гипотеза о том, что мекониальное окрашивание околоплодных вод как независимый маркер интранатальной гипоксии, способно добавить прогностическую ценность поверх изолированной КТГ-интерпретации.

Для проверки этой гипотезы на базе Республиканского перинатального центра им. К.А. Гуткина г. Петрозаводска было проведено ретроспективное когортное исследование на основе данных 9981 пациентки, родоразрешённой в указанном учреждении за 2023–2025 годы. Цель исследования – установить, в какой мере визуальная интерпретация КТГ по классификации FIGO позволяет прогнозировать асфиксию новорождённого, и определить роль клинического контекста, в частности, мекониального окрашивания околоплодных вод, в повышении точности прогноза. Задачи исследования состоят в следующем:

- 1) установить градиент риска асфиксии новорождённого по группам КТГ и рассчитать относительный риск;
- 2) оценить дискриминационную способность метода с учётом систематических искажений наблюдаемой ассоциации;
- 3) исследовать роль клинического контекста в прогнозировании асфиксии на фоне нормального типа КТГ.

Методы исследования. КТГ-заключения извлечены из неструктурированного текста приёмных записей и выписных эпикризов с помощью большой языковой модели. Модель сопоставляла свободные клинические формулировки с категориями классификации FIGO, обеспечивая стандартизированную трёхуровневую разметку каждой записи. Качество извлечения контролировалось случайной выборочной верификацией; значимых расхождений с ручной разметкой не выявлено. КТГ-данные получены у 3789 пациенток (37,96 % когорты).

В качестве первичного критерия исхода использована оценка по шкале Апгар на 1-й минуте жизни менее 7 баллов – маркер асфиксии новорождённого как закономерного следствия интранатальной гипоксии плода.

Для количественной оценки дискриминационной способности КТГ применён ROC-

анализ; линейный тренд частоты асфиксии по группам FIGO проверен непараметрическим критерием; операционные характеристики рассчитаны с интервальным оцениванием. Связь между группами КТГ и вероятностью асфиксии выражена через относительный риск с 95 % доверительным интервалом.

Для конвергентной валидации КТГ использовано мекониальное окрашивание околоплодных вод – независимый клинический маркер интранатальной гипоксии плода, выявляемый при амниотомии или самопроизвольном излитии вод. Если КТГ действительно отражает гипоксию, частота МООВ должна закономерно возрастать от нормального к патологическому типу. Дополнительно оценена аддитивная ценность МООВ в группе нормального типа КТГ как в зоне наибольшей клинической неопределённости.

* * * * *

Результаты исследования. Из 9981 пациентки данные КТГ зарегистрированы у 3789 (37,96 %); у остальных 6192 пациенток КТГ не выполнялась – преимущественно при плановых кесаревых сечениях без родовой деятельности. Когорта с КТГ существенно отличалась от когорты без КТГ по частоте акушерских осложнений: преэклампсия – 14,5 % против 4,6 %, преждевременные роды – 9,7 % против 5,2 %, кесарево сечение – 67,1 % против 15,1 %. Это закономерно: КТГ выполняется преимущественно при наличии клинических показаний, что формирует систематическое смещение выборки в сторону более высокого акушерского риска.

Среди пациенток с зарегистрированной КТГ преобладал нормальный тип – 2956 (78,02 %); сомнительный тип выявлен у 324 (8,55 %), патологический – у 509 (13,43 %).

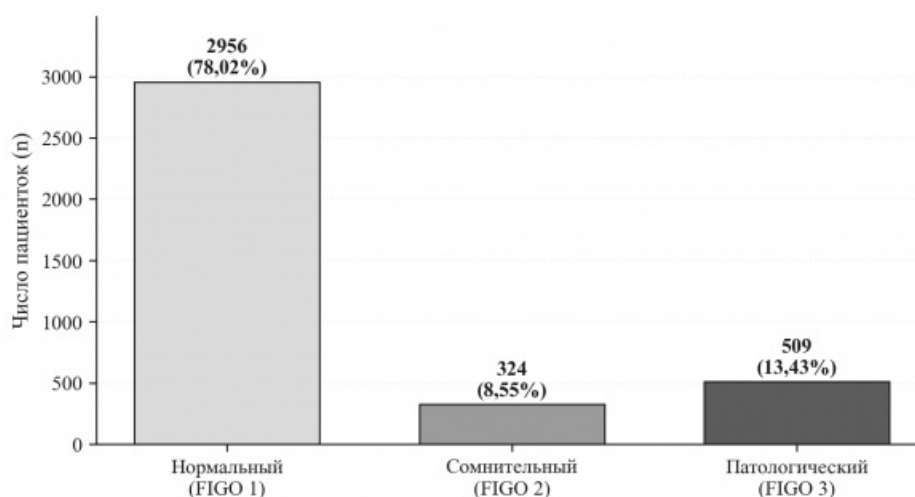


Рис. 1. Распределение КТГ-оценок по классификации FIGO среди пациенток с зарегистрированной КТГ (n=3789): нормальный тип – 2956 (78,02 %), сомнительный – 324 (8,55 %), патологический – 509 (13,43 %). Составлено автором

Частота асфиксии новорождённого закономерно возрастала от нормального к патологическому типу КТГ: 4,17 %, 9,03 % и 10,20 % соответственно (тест Кохрана–Армитиджа, $p < 0,001$). Относительный риск асфиксии при сомнительном или патологическом типе КТГ по сравнению с нормальным составил 2,34 (95 % ДИ 1,78–3,07).

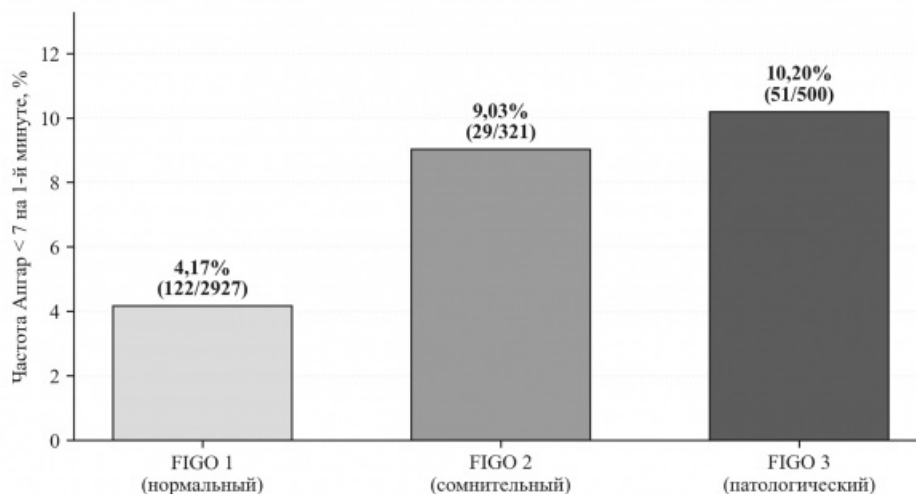


Рис. 2. Частота асфиксии новорождённого (оценка по шкале Апгар на 1-й минуте < 7 баллов) по группам КТГ по классификации FIGO: градиент 4,17 % → 9,03 % → 10,20 % статистически значим (тест Кохрана–Армитиджа, $p < 0,001$). Составлено автором

ROC-анализ показал AUROC 0,595 (95 % ДИ 0,560–0,630) – на нижней границе клинической применимости. При пороге $FIGO \geq 2$ чувствительность составила 39,60 %, специфичность – 79,10 %, отрицательная предсказательная ценность – 95,83 %. Высокая отрицательная предсказательная ценность означает, что нормальный тип КТГ надёжно исключает асфиксию в подавляющем большинстве случаев.

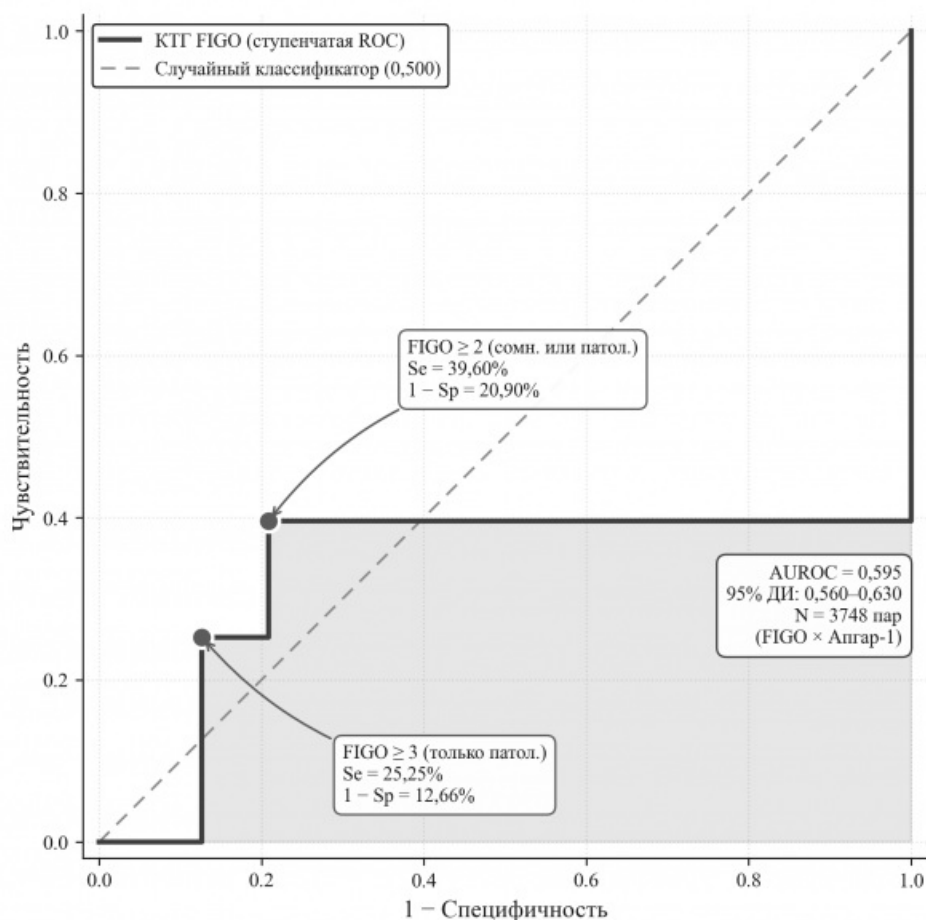


Рис. 3. ROC-кривая дискриминационной способности визуальной интерпретации КТГ по классификации FIGO для прогнозирования асфиксии новорождённого (Апгар < 7 на 1-й минуте); AUROC = 0,595 (95 % ДИ 0,560–0,630); пунктирная линия – случайный классификатор (AUROC = 0,500). Составлено автором

Наблюдаемую ассоциацию систематически занижают два фактора. Первый – эффект базовой частоты: 60,4 % всех случаев асфиксии приходится на группу нормального типа КТГ, которая охватывает 78,02 % когорты – при такой структуре большинство ложноотрицательных результатов математически неизбежно окажется в наиболее многочисленной группе. Второй – парадокс лечения: частота кесарева сечения возрастала от 61,60 % при нормальном типе до 92,14 % при патологическом – своевременное оперативное родоразрешение предотвращает тяжёлую асфикию и тем самым занижает наблюдаемую ассоциацию в ретроспективных данных. Таким образом, AUROC 0,595 следует рассматривать как нижнюю оценку истинной предиктивной ценности метода.

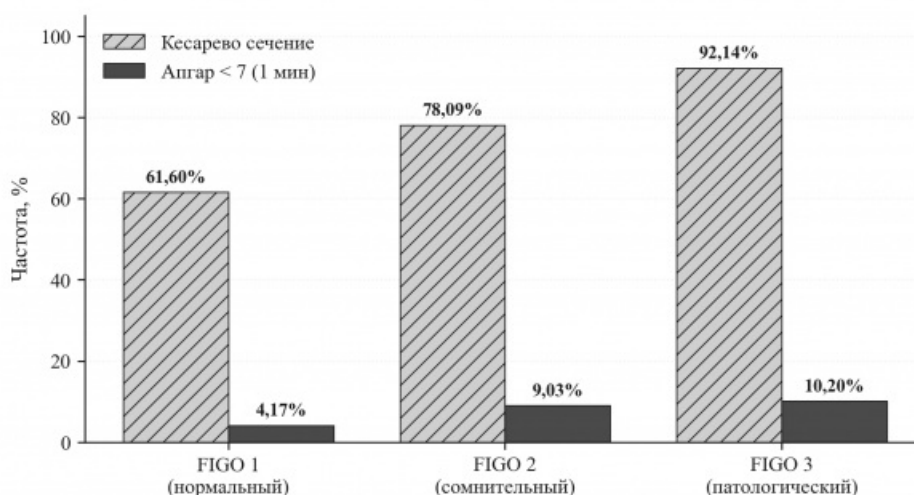


Рис. 4. Парадокс лечения: частота кесарева сечения (61,60 %, 78,09 % и 92,14 %) опережает рост частоты асфиксии (4,17 %, 9,03 % и 10,20 %) по группам КТГ по классификации FIGO – своевременное оперативное родоразрешение предотвращает тяжёлую гипоксию и занижает наблюдаемую ассоциацию в ретроспективных данных. Составлено автором

Если КТГ действительно отражает интранатальную гипоксию плода, частота МООВ должна закономерно возрастать от нормального к патологическому типу, что и наблюдалось: частота МООВ составила 9,55 % при нормальном типе КТГ и возрастала до 24,38 % и 22,40 % при сомнительном и патологическом типах соответственно. Двукратное увеличение частоты МООВ при отклонениях КТГ от нормы свидетельствует о том, что оба маркера отражают один и тот же патологический процесс.

Дополнительно оценена аддитивная ценность МООВ внутри группы нормального типа КТГ, зоны максимальной клинической неопределённости. Среди пациенток с нормальным КТГ частота асфиксии составила 3,93 % при отсутствии МООВ и 6,47 % при его наличии (ОШ 1,69; 95 % ДИ 1,01–2,84). Направление эффекта согласуется с патогенетической логикой, однако результат следует интерпретировать как предварительный – граница статистической значимости достигнута, но для окончательного вывода необходима большая выборка. При патологическом типе КТГ МООВ практически не добавлял прогностической информации: 10,3 % против 10,7 % – потолочный эффект в зоне максимального риска, где клиническая картина уже определена самим типом КТГ.

Обсуждение. Полученное значение AUROC 0,595 формально соответствует нижней границе клинической применимости – и именно так его интерпретирует большинство исследований КТГ, приходя к выводу об ограниченной эффективности метода. Однако такая интерпретация игнорирует два системных искажения, которые неизбежно занижают наблюдаемую ассоциацию в любом ретроспективном исследовании диагностических тестов

в акушерстве.

Парадокс лечения работает следующим образом: патологический тип КТГ в 92 % случаев приводит к экстренному кесареву сечению, то есть метод настолько влияет на клиническое решение, что предотвращает именно те исходы, которые должны были подтвердить его эффективность. В ретроспективных данных мы видим уже «исправленную» реальность. Эффект базовой частоты добавляет математическое искажение: когда 78 % когорты имеет нормальный тип КТГ, большинство случаев асфиксии арифметически неизбежно окажется в этой группе независимо от реальной предиктивной ценности метода. Совокупность этих двух факторов означает, что AUROC 0,595 – это нижняя оценка истинной предиктивной ценности КТГ, а не её реальное значение. Полученные данные согласуются с международной литературой: аналогичные значения чувствительности и специфичности при пороге FIGO $\geq$ 2 зафиксированы в зарубежных когортных исследованиях [Zamora del Pozo: 11]; [Kling: 11].

Стандартный способ верификации предиктивной ценности КТГ – сравнение с рН пуповинной крови как золотым стандартом диагностики интранатальной ацидемии. Однако в нашей базе данных этот показатель не был систематически зарегистрирован. Настоящее исследование предлагает альтернативный приём – конвергентную валидацию через независимый клинический маркер того же патологического процесса.

Логика следующая: если КТГ действительно отражает интранатальную гипоксию плода, она должна коррелировать с МООВ, который является независимым маркером той же гипоксии. Наблюдаемый градиент частоты МООВ – 9,55 %, 24,38 % и 22,40 % при нормальном, сомнительном и патологическом типах соответственно, подтверждает, что оба маркера отражают один и тот же патологический процесс. Это свидетельствует о клинической состоятельности КТГ даже при умеренном значении AUROC.

Особый методологический интерес представляет потолочный эффект при патологическом типе КТГ: МООВ практически не добавлял прогностической информации в этой группе (10,3 % против 10,7 %). Это означает, что при патологическом КТГ клиническая картина уже настолько определённа, что дополнительные маркеры не меняют прогноз. Напротив, при нормальном типе КТГ, группе максимальной неопределённости, направление эффекта МООВ согласуется с патогенетической логикой (ОШ 1,69; 95 % ДИ 1,01–2,84), хотя для окончательного вывода необходима большая выборка. Полученные данные указывают на то, что группа нормального типа КТГ является наиболее перспективной для улучшения точности прогнозирования асфиксии за счёт учёта клинических данных.

Совокупность полученных данных указывает на структурное ограничение визуальной интерпретации КТГ: метод клинически состоятелен, и конвергентная валидация это подтверждает, но стандартизированная категориальная оценка по классификации FIGO не интегрирует клинический контекст. Два системных искажения занижают наблюдаемую ассоциацию, а мекониальное окрашивание околоплодных вод добавляет прогностическую информацию поверх изолированной КТГ-интерпретации – особенно в группе нормального типа, где сосредоточено большинство случаев асфиксии.

Это создаёт чёткое обоснование для разработки системы автоматизированной интерпретации КТГ. В рамках гранта Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (Соглашение № КГРК-26/27) разрабатывается программно-аппаратный комплекс, в котором модель машинного обучения анализирует паттерны КТГ-сигнала в сочетании с клиническим контекстом и формирует стандартизированное заключение. Такой подход устраняет оператор-зависимость и потенциально позволяет извлечь из сигнала информацию, недоступную визуальному анализу.

* * * * *

Визуальная интерпретация КТГ по классификации FIGO предсказывает асфиксию новорождённого на уровне нижней границы клинической применимости – AUROC 0,595. Однако интерпретировать это значение как свидетельство низкой эффективности метода было бы методологически некорректно: парадокс лечения и эффект базовой частоты систематически занижают наблюдаемую ассоциацию, и AUROC 0,595 следует рассматривать как нижнюю оценку истинной предиктивной ценности КТГ.

Конвергентная валидация через мекониальное окрашивание околоплодных вод подтвердила клиническую состоятельность метода: градиент частоты МООВ по группам FIGO согласуется с градиентом риска асфиксии, свидетельствуя о том, что оба маркера отражают один и тот же патологический процесс. При нормальном типе КТГ, группе максимальной клинической неопределённости, МООВ обнаруживает тенденцию к повышению риска асфиксии (ОШ 1,69; 95 % ДИ 1,01–2,84), требующую подтверждения на большей выборке.

Совокупность полученных данных указывает не на бесполезность КТГ-сигнала, а на ограниченность визуального метода его интерпретации. Это обосновывает разработку системы автоматизированной интерпретации КТГ на основе машинного обучения как инструмента поддержки врачебных решений, способного преодолеть структурные ограничения визуальной оценки.

Список литературы

Al Wattar B.H. Effectiveness of intrapartum fetal surveillance to improve maternal and neonatal outcomes: a systematic review and network meta-analysis / B.H. Al Wattar, E. Honess, S. Bunnewell, N.J. Welton, S. Quenby, K.S. Khan, J. Zamora, S. Thangaratinam // Canadian Medical Association Journal. 2021. Vol. 193, № 14. P. E468-E477. DOI: 10.1503/cmaj.202538

Ayres-de-Campos D. FIGO consensus guidelines on intrapartum fetal monitoring: cardiotocography / D. Ayres-de-Campos, C.Y. Spong, E. Chandrachud // International Journal of Gynecology & Obstetrics. 2015. Vol. 131, № 1. P. 13-24. DOI: 10.1016/j.ijgo.2015.06.020

Ben M'Barek I. Large-scale analysis of interobserver agreement and reliability in cardiotocography interpretation during labor using an online tool / I. Ben M'Barek, B. Ben M'Barek, G. Jauvion, E. Holmström, A. Agman, J. Merrer, P.-F. Ceccaldi // BMC Pregnancy and Childbirth. 2024. Vol. 24, № 1. Art. No. 136. DOI: 10.1186/s12884-024-06322-4

Grivell R.M. Antenatal cardiotocography for fetal assessment / R.M. Grivell, Z. Alfrevic, G.M.L. Gyte, D. Devane // Cochrane Database of Systematic Reviews. 2015. № 9. Art. No. CD007863. DOI: 10.1002/14651858.CD007863.pub4

Kling D. Performance of five cardiotocography classification templates in labor: a cohort study / D. Kling, M. Rehnström, A. Herbst // The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine. 2024. Vol. 37, № 1. Art. No. 2394845. DOI: 10.1080/14767058.2024.2394845

Neri S. Interobserver agreement among midwives in cardiotocography interpretation using the 2015 FIGO guidelines for intrapartum fetal monitoring: a retrospective study / S. Neri, R. Ramirez Zegarra, E. Nicolini, F. Frati, S. Tagliaferri, T. Ghi // International Journal of Gynecology & Obstetrics. 2026. Vol. 173, № 2, P. 883-888. DOI: 10.1002/ijgo.70687

Vejux N. Guideline choice for CTG analysis influences first caesarean decision / N. Vejux, R. Ledu, C. D'Ercole, et al. // The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine. 2017. Vol. 30, № 15. P. 1816-1819. DOI: 10.1080/14767058.2016.1228050

Zamora del Pozo C. Diagnostic capacity and interobserver variability in FIGO, ACOG, NICE and Chandrachud cardiotocographic guidelines to predict neonatal acidemia / C. Zamora del Pozo, M. Chóliz Ezquerro, I. Mejía, E. Díaz de Terán Martínez-Berganza, L.M. Esteban, A. Rivero Alonso // The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine. 2022. Vol. 35, № 25. P. 8498-8506. DOI: 10.1080/14767058.2021.1986479

Ulyana E. TAEVA

specialist degree, Petrozavodsk State University
(Petrozavodsk, Russia),
taevaullyana@gmail.com

CARDIOTOCOGRAPHY IN ASPHYXIA PREDICTION: ITS PROGNOSTIC VALUE AND THE ROLE OF CLINICAL CONTEXT

Scientific adviser:

Alexander A. Ivshin

Reviewer:

Julia Boldina

Paper submitted on: 09/28/2026;

Accepted on: 09/28/2026;

Published online on: 09/28/2026.

Abstract. The subjectivity of visual cardiotocography (CTG) interpretation limits the reliability of intrapartum foetal monitoring. The study aimed to assess the predictive value of CTG interpretation according to the FIGO classification and the role of meconium-stained amniotic fluid in predicting neonatal asphyxia. This was a retrospective cohort study (n=9,981) that applied ROC analysis and convergent validation. The area under the ROC curve (AUROC) was 0.595, with the treatment paradox and base rate effect depressing the observed association. The findings justify automated CTG interpretation as a clinical decision support tool.

Keywords: cardiotocography, FIGO classification, neonatal asphyxia, predictive value, convergent validation, meconium-stained amniotic fluid, treatment paradox, base rate effect, machine learning, clinical decision support system

For citation: Taeva, U. E. Cardiotocography in Asphyxia Prediction: Its Prognostic Value and the Role of Clinical Context. *StudArctic Forum*. 2026, 11 (3): 71–78.

References

- Al Wattar B.H., Honess E., et al. Effectiveness of intrapartum fetal surveillance to improve maternal and neonatal outcomes: a systematic review and network meta-analysis. *Canadian Medical Association Journal*, 2021, Vol. 193, No. 14, pp. E468–E477. DOI: 10.1503/cmaj.202538
- Ayres-de-Campos D., Spong C.Y., et al. FIGO consensus guidelines on intrapartum fetal monitoring: cardiotocography. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 2015, Vol. 131, No. 1, pp. 13–24. DOI: 10.1016/j.ijgo.2015.06.020
- Ben M'Barek I., Ben M'Barek B., et al. Large-scale analysis of interobserver agreement and reliability in cardiotocography interpretation during labor using an online tool. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 2024, Vol. 24, No. 1, Art. No. 136. DOI: 10.1186/s12884-024-06322-4
- Grivell R.M., Alfirevic Z., et al. Antenatal cardiotocography for fetal assessment. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2015, No. 9, Art. No. CD007863. DOI: 10.1002/14651858.CD007863.pub4
- Kling D., Rehnström M., et al. Performance of five cardiotocography classification templates in labor: a cohort study. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 2024, Vol. 37, No. 1, Art. No. 2394845. DOI: 10.1080/14767058.2024.2394845
- Neri S., Ramirez Zegarra R., et al. Interobserver agreement among midwives in cardiotocography interpretation using the 2015 FIGO guidelines for intrapartum fetal monitoring: a retrospective study. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 2026, Vol. 173, No. 2, pp. 883–888. DOI: 10.1002/ijgo.70687
- Vejux N., Ledu R., et al. Guideline choice for CTG analysis influences first caesarean decision. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 2017, Vol. 30, No. 15, pp. 1816–1819. DOI: 10.1080/14767058.2016.1228050
- Zamora del Pozo C., Chóliz Ezquerro M., et al. Diagnostic capacity and interobserver variability in FIGO, ACOG, NICE and Chandrachud cardiotocographic guidelines to predict neonatal acidemia. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 2022, Vol. 35, No. 25, pp. 8498–8506. DOI: 10.1080/14767058.2021.1986479