

УДК 618.2+618.3-002]-073/7-092:612.13

ЛАХНО И.В.

Харьковская медицинская академия последипломного образования

НЕИНВАЗИВНАЯ АНТЕНАТАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯ ПЛОДА VERSUS КАРДИОТОКОГРАФИЯ: ПЕРВЫЙ ОПЫТ В УКРАИНЕ

Резюме. Проведено сравнительное изучение кардиотокографии и неинвазивной компьютерной электрокардиографии для оценки объективности мониторинга плода. Установлено, что электрокардиография позволяет объективизировать состояние плода с учетом поправки на «сон». Ухудшение состояния плода у беременных сопровождается уменьшением всех фрактальных составляющих вариабельности сердечного ритма с относительным преобладанием центрального симпатического контура управления. Появление ригидности ритма и тенденция к брадикардии у плода связаны с центральной симпатической активностью на фоне угнетенного ответа синусового узла. Разработанная методика оценки состояния плода может быть реализована в создании телекоммуникативных систем непрерывного электронного мониторинга.

Ключевые слова: плод, мониторинг, неинвазивная антенатальная компьютерная электрокардиография.

Мониторинг состояния плода представляет собой комплексную проблему, теоретически и практически релевантную к уровню адаптационно-приспособительных реакций в рамках системы «мать — плацента — плод». Наиболее доступным инструментом оценки функции регуляторных систем плода является изучение изменчивости длительности сердечных циклов. В рутинной практике акушеров-гинекологов используется метод ультразвуковой доплеровской кардиотокографии (КТГ), основанный на графическом изображении вариабельности сердечного ритма (ВСР) плода. Интерпретацию результата КТГ проводят на основании учета мгновенной («удар к удару») вариабельности и более длительных изменений ритма (акцелераций и децелераций) [1–3, 6, 7, 11]. Физической основой метода является механическая регистрация длительности кардиоинтервалов, связанная с изменением длины отраженной от клапанного аппарата сердца ультразвуковой волны. Отсутствие учета первичных электрофизиологических процессов в синусовом узле снижает точность результата. Ультразвук нельзя считать абсолютно нейтральным для плода. Альтернативой является изучение ВСР по данным неинвазивной электрокардиографии (ЭКГ) плода.

Антенатальная неинвазивная ЭКГ плода основана на регистрации в абдоминальном отведении общего сигнала, состоящего из ЭКГ матери, миографических и прочих составляющих, и последующей фильтрации отдельных компонентов. Решение этой задачи соответствует «слепому разделению источников» на основании анализа независимых компонентов. За последнее десятилетие совместная работа с группой исследователей НТЦ «ХАИ-МЕДИКА» под руководством канд. тех. наук, доцента В.И. Шульгина позволила провести целый ряд успешных регистраций ЭКГ

плода и апробировать в клинических условиях прототип первого в Украине компьютерного фетального электрокардиографа Cardiolab plus fetal [4, 5, 8]. Аппаратный комплекс состоит из электрокардиографа и ноутбука с программным обеспечением. Регистрация с передней брюшной стенки матери общего сигнала, содержащего в том числе и ЭКГ плода, проводится с помощью электрокардиографа в соответствии с 10-минутным протоколом и фиксируется в базе данных Cardiolab. Беспроводная передача информации в ноутбук осуществляется с помощью Bluetooth. После завершения регистрации запись экспортируется в программный модуль в оболочке MATLAB 7.0.1, в котором происходит выделение ЭКГ плода. Дальнейший импорт выделенной ЭКГ в Cardiolab позволяет получить показатели ВСР плода.

Полученные ранее результаты дают возможность обозначить преимущества компьютерного анализа ВСР плода по сравнению с данными КТГ [4, 5]. Сердечный ритм плода имеет мультифрактальную природу, во многом связанную с его биофизической активностью. То есть проявлением ответа механизмов нейрофизиологического управления во время эпизодов двигательной активности плода является возрастание общей мощности (Total Power, TP) ВСР. КТГ не позволяет представить фрактальную структуру ритма плода, а также инициальные механизмы изменчивости сердечных циклов [7, 9, 10]. Построение фазовых портретов ВСР плода представляет собой инструмент, с помощью которого возможно глубже понять природу осцилляторов в их проекциях на синусовый узел сердца, порождающих волновые процессы гемодинамики. В процессе жизнедеятельности плода принято выделять два стационарных состояния: период двигательной активности («бодствования») и период «сна —

отдыха». Безусловно, эти два режима отличаются по характеру регуляции. По данным КТГ-регистрации, в покое плод демонстрирует запрограммированную ареактивность сердечной деятельности, что может быть расценено как признак патологии [2, 5]. Необходим поиск подходов к оценке показателей ВСР плода без учета его активности, то есть позволяющих оценивать базовое состояние нейрофизиологической регуляции. В качестве доступного математического аппарата оценки ВСР используются быстрые преобразования Фурье. Сущность метода состоит в подобии трехгранной призмы, преломляющей ритмограмму на три элементарные составляющие, что аналогично декомпозиции волн оптического диапазона на три цвета. У плода спектр состоит из высокочастотного компонента (High Frequency, HF), связанного с вагальными реакциями на изменения внутриамниотического давления и дыхательными движениями живота матери. Низкочастотная (Low Frequency, LF) часть спектра отражает активность подкорковых симпатических центров и характеризует колебания собственного осциллятора в системе регуляции давления. Очень низкочастотная (Very Low Frequency, VLF) область связана с центральной метаболо-гуморальной регуляцией. Внутриутробный период жизни характеризуется доминированием метаболического звена регуляции, достаточно выраженным симпатическим влиянием на стабилизацию сердечного ритма и практически слабой активностью вагального тонуса [1, 6, 7].

Целью работы было проведение сравнительного изучения КТГ и показателей ВСР плода по данным неинвазивной компьютерной ЭКГ.

Материалы и методы

Под наблюдением находилось 146 беременных в сроках гестации 37–41 неделя, которые были поделены на несколько клинических групп. К I (контрольной) группе было отнесено 52 пациентки с физиологическим течением беременности. Во II группе было 54 беременные с преэклампсией (ПЭ) легкой степени, а III группу составили 40 женщин с ПЭ средней и тяжелой степени. Пациентки III группы получали гипотензивную терапию в соответствии с клиническим протоколом № 676 Министерства здравоохранения Украины.

Всем обследованным пациенткам проводили изучение ВСР плода путем неинвазивной ЭКГ плода на 10-минутных записях с помощью компьютерно-диагностической системы Cardiolab plus fetal НТЦ «ХАИ-МЕДИКА» (Харьков, Украина). У плода оценивали значение общей мощности спектра автономной нервной регуляции (TP) и мощности трех спектральных компонентов: очень низкочастотного (VLF), низкочастотного (LF) и высокочастотного (HF). Изучали следующие временные характеристики ВСР плода: SDNN, RMSSD, pNN50, AMo и ИН. Регистрацию ЭКГ плода проводили в периоды двигательной активности плода и «покоя — сна». Всем участвовавшим в работе пациенткам проводили изучение биофизического профиля плода (БФП), в состав которого входил и нестрессовый тест (НСТ) по данным КТГ.

Полученные результаты обработаны статистическими методами параметрической статистики (среднее — M, ошибка — m) с помощью пакета программ Excel, адаптированных для медико-биологических исследований.

Результаты и обсуждение

Изучение показателей ВСР плодов обследованных пациенток позволило установить значительные различия (табл. 1). У пациенток I группы была отмечена максимальная TP с преобладанием VLF (рис. 1). На фоне состояния «покоя — сна» отмечалось пропорциональное уменьшение фрактальных компонентов ВСР и уменьшение TP. При этом открывались некоторые закономерности. В периоды шевелений TP ВСР значительно возрастала, что влекло увеличение мощности всех частотных областей спектра при незначительном вкладе со стороны HF. Уровень линейных показателей вагального звена регуляции RMSSD и pNN50 был невысоким. Обращало на себя внимание снижение значения ИН и AMo, характеризовавших центральный симпатический контур регуляции, по мере роста TP (табл. 1). Следовательно, шевеления не были связаны с симпатической барорефлекторной активностью. Повидимому, основа регуляторных изменений во время движений плода находилась в метаболо-гуморальной (VLF) части спектра ВСР, которая зависела от уровня различных вазоактивных веществ, в том числе и катехоламинов. Принимая во внимание, что метаболо-гу-

Таблица 1. Показатели ВСР плодов обследованных беременных

Показатель	I группа	II группа*	III группа*.*
SDNN, мс	46,2 ± 8,2	31,4 ± 6,8	12,3 ± 1,7
RMSSD, мс	22,4 ± 3,4	14,2 ± 2,6	8,1 ± 0,8
pNN50, %	8,6 ± 1,0	5,6 ± 0,9	2,1 ± 0,2
ИН, усл.ед.	140,6 ± 22,8	464,2 ± 52,4	1450,2 ± 112,6
AMo, %	38,2 ± 7,4	49,8 ± 6,2	62,5 ± 6,6
TP, мс ²	2134,8 ± 364,2	1048,4 ± 98,4	384,8 ± 61,2
VLF, мс ²	1846,2 ± 282,8	670,2 ± 84,6	194,2 ± 23,8
LF, мс ²	192,6 ± 31,1	312,2 ± 66,8	143,6 ± 25,1
HF, мс ²	95,2 ± 19,4	66,1 ± 14,9	48,2 ± 14,1

Примечания: * — различия статистически значимы по сравнению с контролем ($p < 0,05$); * — различия статистически значимы по сравнению со II группой ($p < 0,05$).

моральное звено регуляции является доминирующим у плода при любых значениях ВСР, можно предположить, что торможение центральных симпатических влияний принимает участие в обеспечении наиболее эргономичного режима движений плода. То есть шевеления плода не были взаимосвязаны с формированием стрессорных реакций. В покое возрастание показателей симпатического звена регуляции ИН и АМо демонстрировало относительную стабильность ритма, что на КТГ проявляло себя как «немой» или монотонный тип. С этим были связаны 7 случаев (13,7 %) ложно-ареактивного НСТ по данным КТГ в I группе. Оценка БФП составила $8,1 \pm 0,6$ балла. В I группе независимо от биофизической активности плода значения ИН были менее 350 усл.ед., а АМо — менее 45,0 %. Таким образом, компьютерная неинвазивная ЭКГ плода дает возможность изучения спектральных составляющих ритма плода, учитывая поправку на «сон». Полученный результат наводит на мысль, что даже временные показатели централизации симпатической регуляции ИН и АМо наделены «нелинейным» смыслом, демонстрируя природу ригидности ритма сердца на фоне их возрастания. Изображение линейного показателя — длительности кардиоинтервалов в виде ритмограммы — может быть дополнено огибающей, которая в норме напоминает волну (рис. 2). Чем выше амплитуда волны, тем выше ВСР. Поэтому у плода на фоне удовлетворительного состояния ВСР определяется сложными мультифрактальными взаимодействиями осцилляторов, работающих в нелинейном (волновом) режиме. Доминирующим можно считать метаболо-гуморальное звено регуляции при наличии выраженной активности центрального симпатического контура, значительно преобладающей над парасимпатической.

У пациенток II группы показатели ВСР плода также имели определенные особенности (табл. 1). Отмечались уменьшение ТР, снижение мощности VLF-диапазона, относительное увеличение мощности в области LF и незначительная активность HF-компонента волновой части спектра. По-видимому, повышенная симпато-адреналовая активность у пациенток с ПЭ легкой степени приводила к вазоспазму, гиповолемии и гиперкинетическому типу гемодинамики матери. Материнские влияния проецировались на изменения гемодинамического режима в маточно-плацентарном и плодово-пуповинном контурах гемодинамики. У плода доминировала центральная симпатическая барорефлекторная регуляция. Уменьшение SDNN отражало возрастание роли периферических звеньев контроля сердечного ритма и напряженное функционирование гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси. Парасимпатические влияния, по данным значений RMSSD и pNN50, не играли значительной роли в регуляции гемодинамики плода. ИН в этой группе был в пределах 351–550 усл.ед., а АМо — 45,1–55,0 %. Полученные данные позволяют считать, что наличие повышенной активности стресс-реализующих систем у плодов пациенток II группы было связано с возрастанием симпато-адреналовых влияний, которые угнетали ВСР. По данным КТГ, ре-

активный НСТ зарегистрирован у 5 (9,3 %) пациенток, гипореактивный — у 38 (70,4 %), ареактивный — в 11 случаях (20,3 %). Суммарная оценка БФП составила $6,9 \pm 0,8$ балла, что можно расценить как субкомпенсированное (умеренное) страдание плода.

В III группе значения показателей ВСР были несколько разнородными, что можно связать с различными адаптационными способностями плодов по отношению к формированию шокогенных реакций у матери. В общем случае возникало дальнейшее (по сравнению с показателями I и II группы) снижение мощности ТР, VLF, относительное увеличение LF-компонента (табл. 1). В отношении уровня HF следует отметить, что вагальный тонус возрастал лишь на фоне полной утраты нелинейности в деятельности сердца, то есть появления синусоидального или ригидного ритма. В большинстве наблюдений III группы отмечалось значительное преобладание симпатической регуляции над парасимпатической (рис. 3). При этом наличие тахикардии было проявлением централизации гемодинамики. В случаях появления эпизодов брадикардии (подобия децелераций по данным КТГ) выраженного увеличения ВСР не происходило. ИН в этой группе был более 550 усл.ед., а АМо — более 55,1 %. Это дает смелость утверждать, что в патогенезе антенатальных децелераций значительную роль играет доминирование центрального симпатического контура регуляции при наличии формирующегося гипоксического поражения миокарда плода и угнетенного ответа синусового узла. В этой группе развивался дистресс плода, о чем свидетельствовала суммарная оценка БФП — $5,6 \pm 1,1$ балла.

Возможность оценивать фрактальную структуру сердечного ритма по данным антенатальной неинвазивной ЭКГ плода позволяет глубже изучить природу угрожаемых состояний. Изучение ВСР с помощью ЭКГ плода объективизирует оценку его функционального состояния, что проявляется в исключении необходимости учета внутриутробной биофизической активности. Учитывая простоту практического применения метода и совместимость с современными беспроводными средствами коммуникации, в будущем возможно создание аппаратных комплексов для непрерывного дистанционного мониторинга состояния плода.

Выводы

1. Антенатальная неинвазивная компьютерная ЭКГ плода позволяет объективизировать мониторинг плода с учетом поправки на «сон».
2. Ухудшение состояния плода у беременных с ПЭ сопровождается уменьшением всех фрактальных составляющих ВСР с относительным преобладанием центрального симпатического контура управления.
3. Появление ригидности ритма и тенденция к брадикардии у плода связаны с центральной симпатической активностью на фоне угнетенного ответа синусового узла.
4. Разработанная методика оценки состояния плода может быть реализована в создании телекоммуникативных систем непрерывного электронного мониторинга.

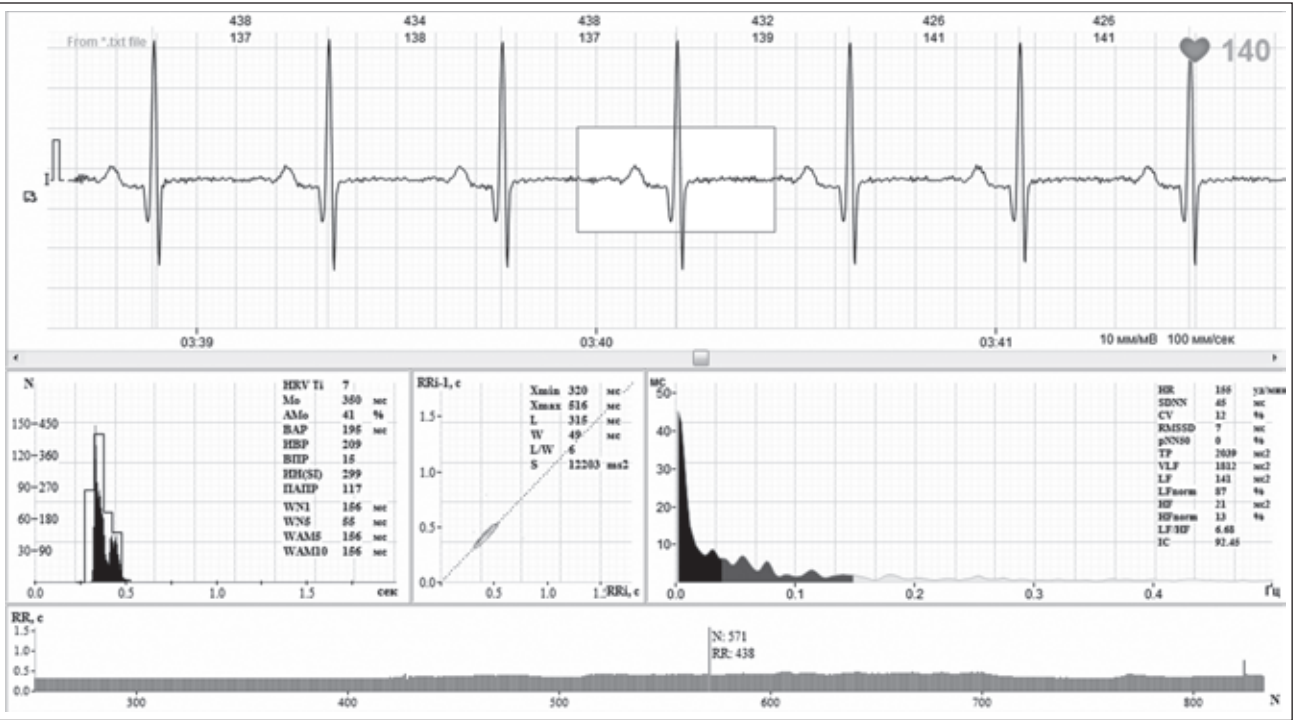


Рисунок 1. «Окно» в программе Cardiolab с выделенной ЭКГ плода и характеристиками ВСП у пациентки с удовлетворительным состоянием плода

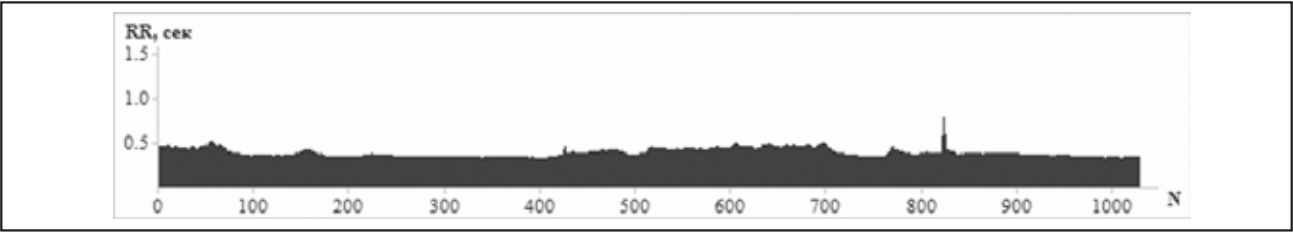


Рисунок 2. Ритмограмма плода пациентки I группы

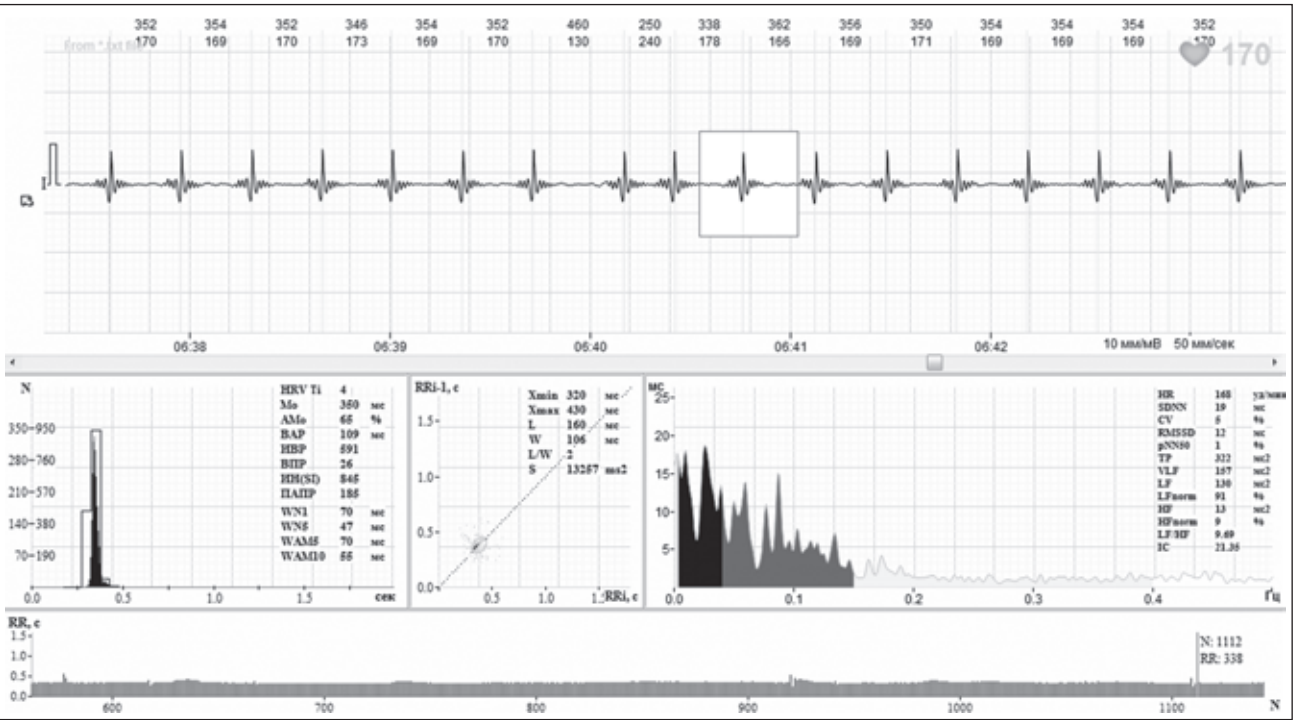


Рисунок 3. «Окно» в программе Cardiolab с выделенной ЭКГ плода и характеристиками ВСП у пациентки III группы с дистрессом плода

Список литературы

1. Абуладзе Г.В., Папिताшвили А.М. Спектральные свойства вариабельности частоты сердечного ритма плода. Норма и клиническое применение // Ультразвуковая и функциональная диагностика. — 2003. — № 2. — С. 128-137.
2. Ведешина О.Д. Затримка росту плода: невіршені питання (огляд літератури) // Біомедична і біосоціальна антропологія. — 2010. — № 14. — С. 157-161.
3. Клещенко С.А. Особенности нейровегетативной регуляции при нормальной и осложненной беременности (на основе спектрального компьютерного анализа кардиоритма матери): Автореф. дис... канд. мед. наук. — Новосибирск, 2002. — 30 с.
4. Лахно И.В. Синхронизация нейрогуморальной регуляции матери и плода // Medicus Amicus. — 2009. — № 4. — С. 24-26.
5. Лахно И.В., Шульгин В.І., Грищенко О.В., Печенін О.В., Риженко Ю.В. Технологічні аспекти та власний досвід вивчення варіабельності серцевого ритму плода методом електрокардіографії // Вісник наукових досліджень. — 2005. — № 2(39). — С. 39-40.
6. Ушакова Г.А., Петрич Л.Н. Нейровегетативная регуляция кардиоритма матери и плода при хронической плацентар-

ной недостаточности // Мать и дитя в Кузбассе. — 2008. — № 34(3). — С. 21-25.

7. Флейшман А.Н. Медленные колебания гемодинамики. Теория, практическое применение в клинической медицине и профилактике. — Новосибирск, 1999. — 224 с.
8. Шульгин В.И., Печенин А.В., Федотенко В.В., Наседкин К.В., Лахно И.В. Использование техники слепого разделения источников для выделения электрокардиограммы плода // Клиническая информатика и телемедицина. — 2004. — № 2. — С. 208-212.
9. Amer-Wahlin I., Kallen K., Herbst A. et al. Current status of intrapartum fetal monitoring: cardiotocography versus cardiotocography + ST analysis of the fetal ECG // J. Matern. Fetal. Neonatal. Med. — 2005. — Vol. 18, № 2. — P. 93-100.
10. Comani S., Mantini D., Lagatta A. et al. ST analysis of fetal ECG in premature deliveries during 30th-36th week of pregnancy // Physiol. Meas. — 2004. — Vol. 25, № 5. — P. 1305-1321.
11. Pasquini L., Seale A.N., Belmar C. et al. PR interval: a comparison of electrical and mechanical methods in the fetus // Early Hum. Dev. — 2007. — Vol. 83, № 4. — P. 231-237.

Получено 17.01.12 □

Лахно И.В.

Харківська медична академія післядипломної освіти

НЕІНВАЗИВНА АНТЕНАТАЛЬНА КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЯ ПЛОДА VERSUS КАРДІОТОКОГРАФІЯ: ПЕРШІЙ ДОСВІД В УКРАЇНІ

Резюме. Проведено порівняльне вивчення кардіотокографії й неінвазивної комп'ютерної електрокардіографії для оцінювання об'єктивності моніторингу плода. Установлено, що електрокардіографія дозволяє об'єктивізувати стан плода з урахуванням поправки на «сон». Погіршення стану плода у вагітних супроводжується зменшенням усіх фрактальних складових варіабельності серцевого ритму з відносною перевагою центрального симпатичного контуру управління. Поява ригідності ритму й тенденція до брадикардії в плода пов'язані з центральною симпатичною активністю на фоні пригніченої відповіді синусового вузла. Розроблена методика оцінювання стану плода може бути реалізована у створенні телекомунікативних систем безперервного електронного моніторингу.

Ключові слова: плід, моніторинг, неінвазивна антенатальна комп'ютерна електрокардіографія.

Lakhno I.V.

Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Kharkiv, Ukraine

NON-INVASIVE ANTENATAL COMPUTER FETAL ELECTROCARDIOGRAPHY VERSUS CARDIOTOCOGRAPHY: FIRST EXPERIENCE IN UKRAINE

Summary. There was carried out a comparative study of cardiotocography and non-invasive computer electrocardiography to assess the objectivity of fetal monitoring. It was established that electrocardiography enable to objectify the fetal condition corrected for sleep. Deterioration of the fetal condition in pregnant women is associated with reduction of all fractal components of heart rate variability with a relative predominance of central sympathetic circuit. The appearance of rigid rhythm and a tendency to bradycardia in the fetus was associated with central sympathetic activity on the background of depression of sinus node response. The developed method of fetal condition assessment could be realized in the creation of telecommunicational systems of continuous electronic monitoring.

Key words: fetus, monitoring, non-invasive antenatal computer electrocardiography.