

УДК: 618.29:616.127

DOI: <http://dx.doi.org/10.21145/2225-0026-2020-2-56-61>**МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ИНДЕКС ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МИОКАРДА
У ПЛОДА: НОРМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ****С. А. Дружинина,**

ГБУЗ НО «Клинический диагностический центр», г. Н. Новгород

*Дружинина Светлана Александровна – e-mail: dlana80@mail.ru*Дата поступления
24.09.2020

Введение. Модифицированный индекс производительности миокарда (Мод-ИПМ) является неинвазивным доплерометрическим показателем оценки систолической и диастолической функции левого желудочка. Индекс производительности миокарда считается надежным ранним маркером сердечной дисфункции плода и может указывать на начальные стадии адаптации сердца к различным перинатальным осложнениям. **Цель исследования** состояла в том, чтобы определить нормальные значения модифицированного индекса производительности миокарда у плодов в российской популяции и оценить его связь со сроком беременности. **Материалы и методы.** Двести женщин без осложнений, связанных с беременностью и чьи плоды имели нормальное строение сердца, были включены в это исследование. Проведено доплерометрическое исследование с измерением следующих временных интервалов: время изоволюметрического сокращения (ВИС), время изгнания (ВИ) и время изоволюметрической релаксации (ВИР). Были получены три последовательных измерения всех параметров и индекс рассчитан из среднего значения каждого интервала по формуле $\text{ИПМ} = (\text{ВИС} + \text{ВИР}) / \text{ВИ}$. **Результаты.** Среднее значение ВИС равнялось 31 мс во втором и 30 мс в третьем триместре, среднее значение ВИ равнялось 169 мс во втором и 170 в третьем триместре, среднее значение ВИР составило 38 мс во втором и 37 в третьем триместре. Среднее значение Мод-ИПМ – 0,39. Не было выявлено существенных изменений между значениями Мод-ИПМ во втором и третьем триместрах беременности. **Заключение.** Применение индекса производительности миокарда в настоящее время ограничено в связи с отсутствием стандартизированных подходов для разграничения периодов времени, используемых при его расчете. Для оценки влияния патологических процессов на индекс производительности миокарда требуются многоцентровые исследования, а для этого необходимо установить нормативные референтные диапазоны значений MPI с использованием стандартизированных методик. **Выводы.** В данном исследовании выявлено отсутствие связи между значениями модифицированного индекса производительности миокарда и гестационным возрастом.

Ключевые слова: плод, доплерография, индекс производительности миокарда.**NORMAL VALUES FETAL MODIFIED MYOCARDIAL PERFORMANCE INDEX
IN THE RUSSIAN POPULATION AND ASSOCIATION WITH GESTATIONAL AGE****S. A. Druzhinina,**

Regional Diagnostic Centre, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Druzhinina Svetlana Aleksandrovna – e-mail: dlana80@mail.ru

Objective. The modified myocardial performance index (mod-MPI) is a non-invasive Doppler index for evaluation of left ventricular systolic and diastolic function. The MPI index is considered to be a reliable early marker of fetal cardiac dysfunction and may indicate the initial stages of adaptation of the heart to various perinatal complications. In order to use the myocardial performance index to assess fetal cardiac function, it's necessary to determine normal values of MPI in the Russian population and compare the values depending on the period of pregnancy. **Materials and methods.** A Doppler study was conducted

on two hundred fetuses with normal heart anatomy. Determining Mod-MPI values were based on techniques described by Hernandez et al. The measured time intervals: isovolumetric contraction time (ICT), ejection time (ET), isovolumetric relaxation time (IRT). Three consecutive measurements of all parameters were determined and the MPI index was calculated from the average value of each interval according to the formula: $PI = (ICT + IRT) / ET$. **Results.** The average value of ICT was 31 ± 3 ms in the 2nd trimester of pregnancy and 30 ± 3 in the third. The average value of ET was 169 ± 9 ms in the 2nd trimester of pregnancy and 170 ± 10 in the third. The average value of IRT was 38 ± 4 ms in the 2nd trimester of pregnancy and 37 ± 4 in the third. The average value of mod-MPI was $0,39 \pm 0,03$. There were no association between the mod-MPI values and gestational age. **Conclusions.** The mod-MPI is a marker of fetal myocardial dysfunction. The use of myocardial performance index is currently limited due to the lack of normative reference ranges and standardized techniques for measuring the estimated time periods. The modified technique was designed to help measure time intervals for calculation of the MPI.

Key words: fetus, Doppler ultrasound, myocardial performance index.

ВВЕДЕНИЕ

Модифицированный индекс производительности миокарда (Мод-ИПМ) является неинвазивным доплерометрическим показателем оценки систолической и диастолической функции левого желудочка. Для расчета MPI индекса измеряется время изоволюметрического сокращения (ВИС) – время сокращения миокарда и повышения внутрижелудочкового давления, рассчитывается от замыкания митрального клапана до раскрытия аортального; время выброса (ВИ) – выброс крови из желудочков, рассчитывается от открытия до закрытия аортального клапана и время изоволюметрической релаксации (ВИР) – постсистолическое расслабление миокарда, обратный захват кальция в кардиомиоцитах, снижение внутрижелудочкового давления, рассчитывается от закрытия аортального клапана до открытия митрального. Индекс рассчитывается следующим образом: $(ВИС + ВИР) / ВИ$ (рис. 1). ИПМ считается надежным ранним маркером сердечной дисфункции плода и может указывать на начальные стадии адаптации сердца к различным перинатальным осложнениям. Измерение индекса позволяет выявлять незначительные изменения сердечной функции на ранних этапах развития патологических изменений, что поможет выявить группы высокого риска и определить тактику ведения беременности. Однако его использование для оценки состояния сердца плода ограничено из-за отсутствия данных нормальных значений в российской популяции и противоречивых результатов, полученных зарубежными авторами. Дисфункция желудочков связана с более высокими значениями ИПМ. Снижение обратного захвата кальция клетками сердца приводит к увеличению времени, необходимого для релаксации миокарда, что приводит к продлению ВИР и укорочению ВИ. Описаны случаи изменения ИПМ как метода оценки сердечной дисфункции плода при ряде патологий включая диабетическую фетопатию, врожденные пороки сердца, преэклампсию, замедление роста плода, фето-фетальный трансфузионный синдром. Это исследование было проведено с целью определения

нормальных значений Мод-ИПМ левого желудочка сердца плода во втором и третьем триместрах беременности.

В статье представлены результаты исследования, **ЦЕЛЬ** которого состояла в том, чтобы определить нормальные значения модифицированного индекса производительности миокарда у плодов в российской популяции и оценить его связь со сроком беременности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Двести женщин без осложнений, связанных с беременностью и чьи плоды имели нормальное строение сердца, были включены в это исследование. Средний гестационный возраст составил $26 \pm 6,5$ недель (от 17 до 39 недель). В исследование не вошли женщины с осложнениями, связанными с беременностью, такие как преэклампсия, диабет, плацентарная недостаточность, а также плоды с врожденными пороками развития и выявленными хромосомными аномалиями.

Контрольный доплеровский объем размещается в поперечном сечении грудной клетки плода на медиальной стенке восходящей аорты, ниже аортального клапана и чуть выше митрального клапана в четырехкамерном срезе сердца, поэтому движения обоих клапанов регистрируются одновременно в доплеровском спектре (рис. 2).

В конце волны Е/А движение аортального клапана дает сильный эхосигнал в форме иглы, легко распознаваемый в направлении, противоположном волне Е/А. Поскольку поток в аорте является высокоскоростным, щелчок открытия клапана идентифицируется как линейный эхосигнал в начале волны от аортального клапана. Противоположная картина наблюдается в конце систолы, когда закрытие аортального клапана легко идентифицируется как эхосигнал в форме иглы до начала А волны (рис. 3). Результаты оцениваются в миллисекундах (мс).

Были измерены следующие временные интервалы: время изоволюметрического сокращения (ВИС) измеряли от конца Е/А волны митрального клапана до открытия аортального клапана, время выброса (ВИ) измеряли от начала до конца импульсного доплеровского сигнала

от аортального клапана и время изоволюметрической релаксации (ВИР) от щелчка закрытия аортального клапана до начала Е/А волны митрального клапана. Были получены три последовательных измерения всех параметров и MPI индекс рассчитан из среднего значения каждого интервала по формуле $\text{ИПМ} = (\text{ВИС} + \text{ВИР}) / \text{ВИ}$.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием программ Excell (Microsoft Office 2011) и при помощи пакета прикладных программ SPSS 22 (SPSS Inc., Chicago, IL., USA). Все числовые данные выражены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение. Для оценки взаимосвязи Мод-ИПМ с гестационным возрастом использовался коэффициент Стьюдента и корреляционно-регрессионный анализ. Определен 5% уровень статистической значимости $P < 0,05$. Для определения соответствия выборки нормального распределения использовался метод Колмогорова-Смирнова.

Ультразвуковое исследование проводилось на аппарате Voluson E8 (GE) с использованием трансабдоминального датчика объемного сканирования RAB6-D.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

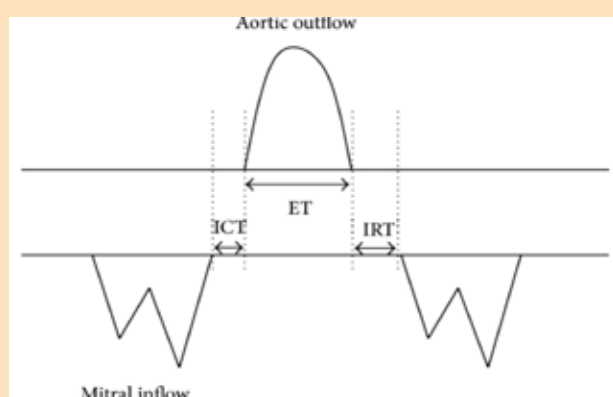
Двести женщин с одноплодной беременностью без каких-либо отклонений были включены в данное исследование (таблица 1). У всех плодов были измерены временные интервалы ВИС, ВИ, ВИР (таблица 2). Среднее значение ВИС равнялось 31 ± 3 мс во втором триместре и 30 ± 3 мс в третьем, среднее значение ВИ равнялось 169 ± 9 мс во втором триместре и 170 ± 10 в третьем, среднее значение ВИР составило 38 ± 4 мс во втором триместре и 37 ± 4 в третьем. Среднее значение Мод-ИПМ – $0,39 \pm 0,03$. Не было выявлено существенных изменений между значениями Мод-ИПМ во втором и третьем триместрах беременности ($p=0,396$, t -критерий= $0,851$).

Анализ коэффициента корреляции показал слабую отрицательную корреляцию ($r=-0,12$), не выявил связи между индексом производительности миокарда и гестационным возрастом (рис. 4, 5).

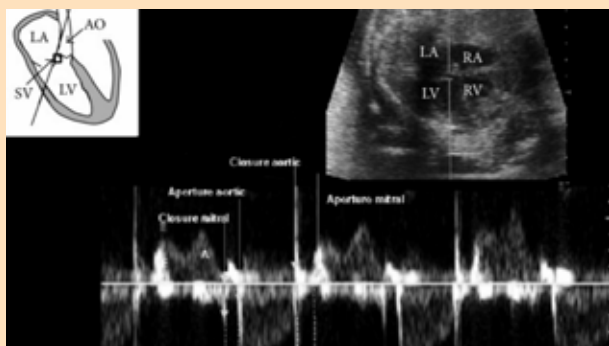
ОБСУЖДЕНИЕ

Индекс производительности миокарда (MPI) первоначально был предложен Tei et al. [1] для оценки состояния сердца при дилатационной кардиомиопатии. Доступная в настоящее время литература содержит большой разброс в значениях MPI индекса для оценки состояния сердца плода. В исследовании Falkensammer et al. [2] значения Tei индекса составляла $0,41 \pm 0,05$ в левом желудочке в норме, который оставался постоянным в течение всей беременности, у плодов с застойной сердечной недостаточностью увеличивался до $0,92$ мс. Результаты исследования Tsutsumi et al. (были первыми, кто использовал Tei индекс для оценки функции миокар-

да у плода) [3] показали, что индекс Tei линейно снижался с увеличением гестационного возраста от 18 до 33 недель (нормальные значения выше $0,6$) и ускоренно уменьшался с увеличением гестационного возраста после 34 недель. У плодов с задержкой роста и диабетической фетопатией Tei индекс существенно не отличался от контроля с 18 по 26 неделю, однако с 27 по 40 неделю показатели Tei индекса были значительно выше, по сравнению с нормой. В работе Eidem et al. [4] полученные данные составляли $0,32 \pm 0,3$ мс для левого желудочка и не изменялись с увеличением гестационного возраста. Kim et al. [5] получили значения $0,528 \pm 0,103$ в положении беременной женщины лежа на спине в сроке от 28 до 40 недель и $0,555 \pm 0,106$ в вертикальном положении. В 11–14 недель индекс Tei для левого желудочка составил $0,375 \pm 0,092$ [6]. В работе Бариновой В.В. и соавт. [7] индекс производительности миокарда изменялся с увеличением срока беременности, зависел от пола плода и расположения плаценты, значения варьировались от $0,48 \pm 0,09$ до $0,61 \pm 0,02$. Все эти исследования были выполнены по методу Tei, размещая контрольный доплеровский объем в разных местах для измерения времени наполнения левого желудочка и для времени выброса аорты. Friedman et al. [8] предложил измерять различные периоды времени для подсчета MPI индекса в одной доплеровской кривой, тем самым избегая погрешности в измерениях, связанных с изменением частоты сердечных сокращений. Доплеровский контрольный объем при этом находился в левом желудочке под митральным клапаном. Однако, несмотря на то, что авторы дают четкие указания на измерения (от начала до конца каждого сигнала), на практике трудно определить точное местоположение этих точек. В этом исследовании использовался метод, предложенный Hernandez et al. (Mod-MPI) [9], который основывался на подходе Friedman (F-MPI), но контрольный объем размещался рядом с митральным клапаном, ближе к медиальной стенке аорты. При таком расположении в доплеровской кривой отчетливо идентифицируются эхо-сигналы от митрального и аортального клапанов. Этот метод имел меньшую вариацию внутри и между наблюдателями [9–11]. Но тем не менее изменчивость значения индекса между наблюдателями высока [12, 13] (рис. 6). Дальнейшие работы оценивали влияние настроек машины для технического усовершенствования в получении импульсных доплеровских сигналов [14]. В этом исследовании были применены следующие настройки: WMF 300 Гц, угол инсонации менее 15 градусов, скорость развертки доплера 5, контрольный объем от 2 мм и выбор пика щелчков клапанов.

**РИС. 1.**

Схематическое изображение эхографических параметров для расчета мод-ИПМ.

**РИС. 2.**

Расположение контрольного доплеровского объема на медиальной стенке восходящей аорты.

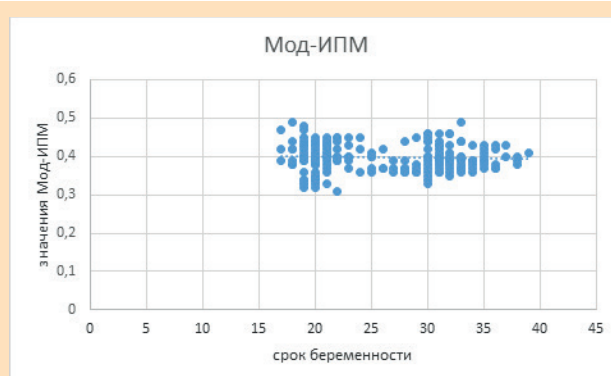
**РИС. 3.**

Щелчки открытия и закрытия аортального клапана идентифицируются как линейные эхосигналы в форме иглы.

ТАБЛИЦА 1.

Разделение пациентов на две группы соответственно гестационному возрасту

Гестационный возраст	Количество пациентов	Среднее значение Мод-ИПМ
Второй триместр (17–27 недель)	100	0,399±0,03
Третий триместр (28–39 недель)	100	0,394±0,03

**РИС. 4.**

Линейная диаграмма, демонстрирующая отсутствие корреляции между значениями Мод-ИПМ и гестационным возрастом.

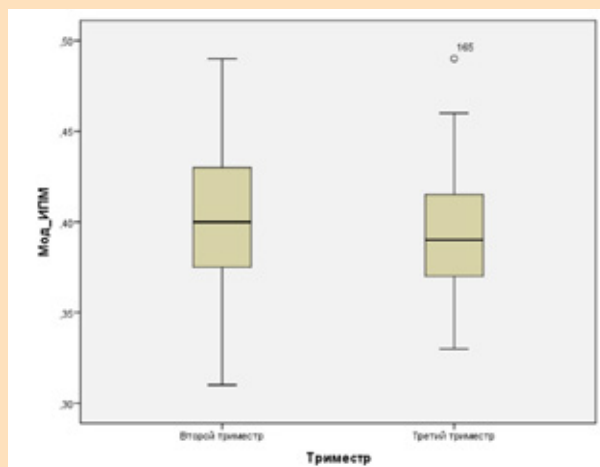
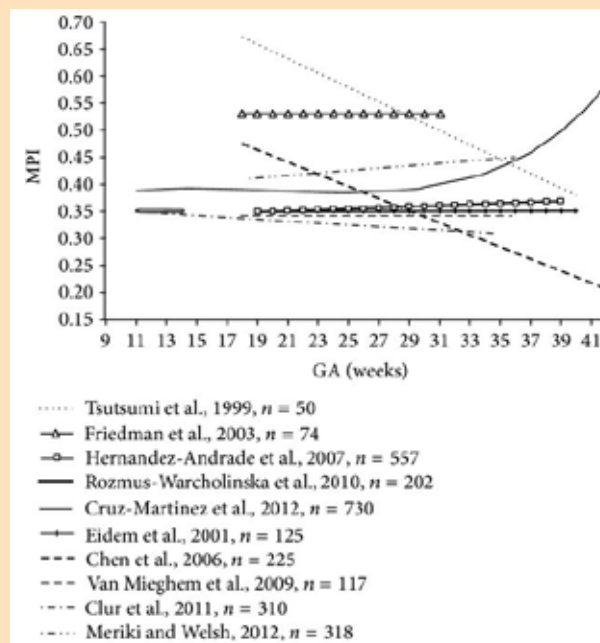
**РИС. 5**

Диаграмма размаха.

**РИС. 6.**

Значения индекса производительности миокарда, полученные разными авторами.

Показатели индекса Мод-ИПМ изменяются при осложненных беременностях во втором и третьем триместрах [15]. Повышение значений происходит при таких состояниях как замедление роста плода (ВЗРП) [6, 16–20], фето-фетальный трансфузионный синдром (ФФТС) [21–23], синдром обратной артериальной перфузии [24], диабетической фетопатии [25–27], синдроме системного воспалительного ответа плода в связи с преждевременным разрывом амниотических оболочек [28] и др. [29–31].

В исследовании, проведенном Letti et al. [28] продемонстрировано значительное повышение Tei индекса у плодов с иммунным ответом на внутриамниотическую инфекцию при микробной инвазии, вызванной преждевременным разрывом амниотических оболочек. Это объясняется тем, что сердце плода является одним из органов мишеней и неблагоприятный исход связан с сердечной дисфункцией. В ответ на снижение сердечного выброса происходит централизация кровообращения.

Исследование, проведенное Cruz-Martinez et al. [32], показало, что значения Мод-ИПМ повышаются в среднем на три недели раньше у плодов с ранним ВЗРП, чем ПИ в венозном протоке. Исходя из того, что ИПМ является прямым индикатором работы миокарда, в то время как паттерны венозного протока-косвенным отражением и, следовательно, аномальная функция миокарда становится очевидной на более ранних стадиях ухудшения состояния плода. Авторы указывают [19] на то, что индекс производительности миокарда можно использовать как средство дифференциальной диагностики истинных форм ВЗРП от малых к сроку плодов.

Кардиомиопатия является маркером степени тяжести состояния плода-реципиента при монохориальной двойне. В описанном исследовании [21] ИПМ в 55% случаев изменяется уже на первой стадии по Quintero. Прогрессирующая кардиомиопатия является показанием для фетоскопической лазерной коагуляции сосудистых анастомозов [24, 33, 34].

В исследовании [35] авторы показали, что сердечная функция плода значительно нарушена во время беремен-

ности, осложненной тяжелой преэклампсией с ранним началом, независимо от того, существует ли замедление роста плода, усугубляется ли ухудшением степени плацентарного сосудистого сопротивления и было ли предложено интегрирование ИПМ в рутинные методы наблюдения за плодом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ИПМ является неинвазивным маркером функции миокарда и чувствительным инструментом для выявления дисфункции сердца у плода. Его применение в настоящее время ограничено в связи с отсутствием стандартизованных подходов для разграничения периодов времени, используемых при его расчете. Для оценки влияния патологических процессов на индекс производительности миокарда требуются многоцентровые исследования, а для этого необходимо установить нормативные референтные диапазоны значений ИПМ с использованием стандартизированных методик.

В данном исследовании выявлено отсутствие связи между значениями модифицированного индекса производительности миокарда и гестационным возрастом.

Работа выполнена при отсутствии финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии явного или потенциального конфликта интересов, связанного с публикацией статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Tei C., Nishimura R.A., Seward J.B., Tajik A. J. Noninvasive Doppler-derived myocardial performance index: correlation with simultaneous measurements of cardiac catheterization measurements. *J Am Soc Echocardiogr* 1997; 10(2): 169-78.
2. Falkensammer C.B., Paul G., Huhta J.C. Fetal congestive heart failure: correlation of Tei-index and cardiovascular-score. *J. Perinat Med* 2001; 29(5): 390-8.
3. Tsutsumi T., Ishii M., Eto G., Hota M., Kato H. Serial evaluation for myocardial performance in fetuses and neonates using a new Doppler index. *Pediatr Int* 1999; 41(6): 722-7.
4. Eidem B.W., Edwards J.M., Cetta F. Quantitative assessment of fetal ventricular function: establishing normal values of the myocardial performance index in the fetus. *Echocardiography* 2001; 18(1): 9-13.
5. Kim W.J., Choi H.J., Yang S.Y., Koo B.H., Ahn K.H., Cho G.J., Hong S.C., Oh M.J., Kim H.J. Adaptive responses of cardiac function to fetal postural change as gestational age increases. *Obstet Gynecol Sci* 2016; 59(6): 427-433, <https://doi.org/10.5468/ogs.2016.59.6.427>.
6. Khandoker A.H., Marzbanrad F., Kimura Y., Al Nuaimi S., Palaniswami M. Assessing the development of fetal myocardial function by a novel Doppler myocardial performance index. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2016; 3753-3756, <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591544>.
7. Баринаева В.В., Боташева Т.Л., Авруцкая В.В., Александрова Е.М., Палиева Н.В., Васильева В.В. Морфофункциональные особенности сердечно-сосудистой системы плода во 2 и 3 триместрах физиологической беременности в зависимости от полового диморфизма. *Современные проблемы науки и образования* 2012;2 Available at: URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=5923>.

Barinova V.V., Botasheva T.L., Avrutskaya V.V., Alexandrova E.M., Palieva N.V., Vasilieva V.V. Morphological and functional features of the fetal cardiovascular system in the 2nd and 3rd trimesters of physiological pregnancy, depending on sexual dimorphism. Sovremennye problem nauki i obrazovaniya 2012;2 Available at: URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=5923>.

ТАБЛИЦА 2.

Эхокардиографические параметры

Параметры	Временные интервалы (средние значения ± станд. отклонение)	
	2 триместр	3 триместр
Время изоволюметрического сокращения	31±3	30±3
Время изоволюметрической релаксации	38±4	37±4
Время выброса	169±9	170±10
Модифицированный индекс производительности миокарда	0,399±0,03	0,394±0,03

8. Friedman D., Buyon J., Kim M., Glickstein J.S. Fetal cardiac function assessed by Doppler myocardial performance index (Tei-index). *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2003; 21(1): 33-6.
9. Hernandez-Andrade E., Lopez-Tenorio J., Figueroa-Diesel H., Sanin-Blair J., Carreras E., Cabero L., Gratacos E. A modified myocardial performance (Tei) index based on the use of valve clicks improves reproducibility of fetal left cardiac function assessment. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 26(3): 227-32.
10. Cruz-Martinez R., Figueras F., Jaramillo J.J., Meler E., Mendez A., Hernandez-Andrade E., Gratacos E. Learning curve for Doppler measurement of fetal modified myocardial performance index. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2011; 37(2): 158-62, <https://doi.org/10.1002/uog.7765>.
11. MacDonald T.M. et al. Prospective longitudinal assessment of the fetal left modified Myocardial Performance Index. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2019; 32(5): 760-767, <https://doi.org/10.1080/14767058.2017.1391777>.
12. Allen C.C., Keller R., Bernard K.C., Gao Z., King E.C., Michelfeider E.C. Test-retest variability for quantitative two-dimensional and Doppler measurements in the fetus. *Echocardiography* 2019; 36(1): 142-149, <https://doi.org/10.1111/echo.1402>.
13. Welsh A.W., Maheshwari P., Wang J., Henry A., Chang D., Crispi F., Gardiner H.M., Hernandez-Andrade E., Meriki N., Redmond S., Yagel S. Evaluation of an automated fetal myocardial performance index. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2016; 48(4): 496-503, <https://doi.org/10.1002/uog.15770>.
14. Meriki N., Izurieta A., Welsh A.W. Fetal left modified performance index: technical refinements in obtaining pulsed-Doppler waveforms. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2012; 39(4): 421-9, <https://doi.org/10.1002/uog.9090>.
15. Pacheco Silva C., Araujo Junior E., Maccagnano Zamith M., Rabachini Caetano A.C., Perez Zamarian A.C., Oliveira Calvalcante R., Fernandes Moron A., Marcondes Machado Nardozza L.M. Assessment of modified myocardial performance index in fetuses with growth restriction. *Med Ultrason* 2016; 18(2): 207-13, <https://doi.org/10.1152/mu.2013.2066.182.idx>.
16. Davutoglu A.E., Ozel A., Oztunc F., Madazli R. Modified myocardial performance index and its prognostic significance for adverse perinatal outcome in early and late onset fetal growth restriction. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2020; 33(2): 277-282, <https://doi.org/10.1080/14767058.2018.1489534>.
17. Perez-Cruz M., Crispi F., Fernandez M.T., Parra J.A., Valls A., Gomez Roig M.D., Gratacos E. Cord blood biomarkers of cardiac dysfunction and damage in term growth-restricted fetuses classified by severity criteria. *Fetal Diagn Ther* 2018; 44 (4): 271-276, <https://doi.org/10.1159/000484315>.
18. Bhide A., Vuolteenaho O., Haapsamo M., Erkinaro T., Rasanen J., Acharya G. Effect of hypoxemia with or without increased placental vascular resistance on fetal left and right ventricular myocardial performance index in chronically instrumented sheep. *Ultrasound Med Biol* 2016; 42(11): 2589-2598, <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2016.07.006>.
19. Chawengsettakul S., Russameecharoen K., Wanitpongan P. Fetal cardiac function measured by myocardial performance index of small-for-gestational age fetuses. *J Obstet Gynaecol Res* 2015; 41(2): 222-228, <https://doi.org/10.1111/jog.12508>.
20. Zhang L., Han J., Zhang N., Li Z., Wang J., Xuan Y., Kagan K. O., Wu Q., Sun L. Assessment of fetal modified myocardial performance index in early-onset and late-onset fetal growth restriction. *Echocardiography* 2019; 36(6): 1159-1164, <https://doi.org/10.1111/echo.14364>.
21. Stirnemann J.J., Mougeot M., Proulx F., Nasr B., Essaoui M., Fouron J.C., Ville Y. Profiling fetal cardiac function in twin-twin transfusion syndrome. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2010; 35(1): 19-27, <https://doi.org/10.1002/uog.7488>.
22. Wohimuth C., Boudreaux D., Moise K.J. Jr., Johnson A., Papanna R., Bebbington M., Gardiner H.M. Cardiac pathophysiology in twin-twin transfusion syndrome: new insights into its evolution. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2018; 5(3): 341-348, <https://doi.org/10.1111/aogs.12871>.
23. Lee M.Y., Won H.S., Park J.E., Shim J.Y., Lee P.R., Kim A., Lee J.B. Fetal left modified myocardial performance index measured by the Auto Mod-MPI system: development of reference values and application to recipients of twin-to-twin transfusion syndrome. *Prenat Diagn* 2016; 36(5): 424-31, <https://doi.org/10.1002/pd.4798>.
24. Martimucci K., Kuhn T., Bilinski R., Alvarez-Perez J. Use of the Tei index in the conservative management of TRAP sequence pregnancies diagnosed during the periviable period: a case series. *Case Rep Obstet Gynecol* 2018; 2018: 2521797, <https://doi.org/10.1155/2018/2521797>.
25. Wong M.L., Wong W.H., Cheung Y.F. Fetal myocardial performance in pregnancies complicated by gestational impaired glucose tolerance. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2007; 29(4): 395-400.
26. Patey O., Carvalho J.S., Thilaganathan B. Perinatal changes in fetal cardiac geometry and function in diabetic pregnancy at term. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2019; 54(5): 634-642, <https://doi.org/10.1002/uog.20187>.
27. Pílania R., Sikka P., Rohit M.K., Suri V., Kumar P. Fetal cardiodynamics by echocardiography in insulin dependent maternal diabetes and its correlation with pregnancy outcome. *J Clin Diagn Res* 2016; 10(7): QC01-4, <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/17993.8079>.
28. Letti Muller A.L., Barrios P., Kliemann L.M., Valerio E.G., Magalhaes J.A. Tei index to assess fetal cardiac performance in fetuses at risk for fetal inflammatory response syndrome. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2010; 36(1): 26-31, <https://doi.org/10.1002/uog.7584>.
29. Sanhal C.Y., Kara O., Yucel A. Can fetal left ventricular modified myocardial performance index predict adverse perinatal outcomes in intrahepatic cholestasis of pregnancy? *J Matern Fetal Neonatal Med* 2017; 30(8): 911-916, <https://doi.org/10.1080/14767058.2016.1190824>.
30. Srisupundit K., Tongprasert F., Luewan S., Traisrisilp K., Jatavan P., Tongsong T. Effect of cordocentesis on fetal myocardial performance. *Prenat Diagn* 2016; 36(9): 871-4, <https://doi.org/10.1002/pd.4876>.
31. Henry A., Welsh A. W. Monitoring intrahepatic cholestasis of pregnancy using the fetal myocardial performance index: a cohort study. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2015; 46(5): 571-8, <https://doi.org/10.1002/uog.14769>.
32. Cruz-Martinez R., Figueras F., Benavides-Serralde A., Crispi F., Hernandez-Andrade E., Gratacos E. Sequence of changes in myocardial performance index in relation to aortic isthmus and ductus venosus Doppler in fetuses with early-onset intrauterine growth restriction. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2011; 38(2): 179-84, <https://doi.org/10.1002/uog.8903>.
33. Delabaere A., Leduc F., Reboul Q., Fuchs F., Wavrant S., Fouron J.C., Audibert F. Prediction of neonatal outcome of TTTS by fetal heart and Doppler ultrasound parameters before and after laser treatment. *Prenat Diagn* 2016; 36(13): 1199-1205, <https://doi.org/10.1002/pd.4956>.
34. Finneran M.M., Pickens R., Templin M., Stephenson C.D. Impact of recipient twin preoperative myocardial performance index in twin-twin transfusion syndrome treated with laser. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2017; 3 (7): 767-771, <https://doi.org/10.1080/14767058.2016.1187124>.
35. Bhorat I.E., Bagratee J.S., Reddy T. Assessment of fetal myocardial performance in severe early onset pre-eclampsia (EO-PET) with and without intrauterine growth restriction across deteriorating stages of placental vascular resistance and links to adverse outcomes. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 2017; 210: 325-333, <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2017.01.014>.