

УДК 611.12

ПРЕНАТАЛЬНАЯ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ СЕРДЦА ПЛОДА ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ

Быков С.В., Лященко Д.Н.*ГОУ ВПО «Оренбургская государственная медицинская академия», Оренбург,
e-mail: stbykov@gmail.com, lyaschenkod@mail.ru*

Врожденные пороки сердца в структуре младенческой смертности занимают ведущее место, поэтому проблема ранней и качественной диагностики этих состояний является достаточно важной. Целью настоящего научного обзора явился анализ публикаций, посвященных проблеме пренатальной ультразвуковой оценки анатомии плода человека в норме. В ходе данной работы были рассмотрены последовательные изменения в технологиях эхокардиографии сердца плода в М- и В-режимах. Дальнейшее повышение требований к точности пренатальной диагностики потребовало внедрения в практику новых методов ультразвуковой визуализации сердца: 3 и 4D-режимов в сочетании с технологией пространственно-временной корреляции. Нормативные показатели анатомических структур сердца плода, полученные в ходе этих исследований, могут быть ценным инструментом в оценке патологии сердечно-сосудистой системы плода. Перспективным является получение данных о гестационной и половой изменчивости прижизненного строения сердца в раннем плодном периоде, формирование региональных номограмм.

Ключевые слова: пренатальная эхокардиография, сердце плода, пренатальный

FETAL ECHOCARDIOGRAPHY OF THE NORMAL HUMAN HEART

Bykov S.V., Lyashchenko D.N.*Orenburg State Medical Academy, Orenburg, e-mail: stbykov@gmail.com, lyaschenkod@mail.ru*

Congenital heart malformations are responsible for most infant deaths, and it is important to make an early and accurate diagnosis of pathological states. The aim of this review was to explore the possibilities of ultrasound examining the normal fetal heart anatomy. Evolutionary trend from M-mode to B-mode was shown. Further improvement in the prenatal diagnosis of congenital heart disease required novel advanced imaging methods that could effectively provide cardiac information from the fetus. Three dimensional (3D) and 4D fetal echocardiography using spatio-temporal image correlation (STIC) became up-to-date quality standard for fetal heart evaluation. Normal values of constructed fetal cardiac dimensions using these technologies may be useful tool in the assessment of fetal cardiac abnormalities. This is a promising technique to gain information about the normal human heart and to develop gestational, regional and gender ranges.

Keywords: fetal echocardiography, fetal heart, ultrasonography, prenatal

Врожденная патология сердечно-сосудистой системы занимает одно из ведущих мест в структуре перинатальной смертности, пороки сердца выявляются с частотой 4–8 случаев на 1000 родов [1]. Ранняя и качественная оценка анатомических структур в пренатальном периоде во многом определяет успешность и эффективность дальнейшей кардиохирургической помощи. Проводя анализ литературы, посвященной дородовой визуализации сердечно-сосудистой системы плода человека, можно выделить общую тематику подавляющего числа работ. В них достаточно подробно описаны вопросы патологии строения, проблемы методологических подходов, повышающих эффективность диагностики данных состояний, описаны в большом количестве частные случаи и различные нозологические формы выявленных пороков. Однако хотелось бы акцентировать внимание на исследовании в области нормальной прижизненной анатомии, поскольку это направление наиболее перспективно и востребовано в современных условиях.

Ультразвуковая диагностика стала одним из наиболее эффективных, доступных

и массовых методов прижизненной оценки строения сердечно-сосудистой системы плода. Несмотря на сравнительно небольшую историю применения в практической медицине, цели и возможности данного диагностического направления постоянно менялись на протяжении последних десятилетий. Ультразвуковая диагностика прочно связана с уровнем технологического развития, поэтому точность оценки анатомических структур возрастает по мере внедрения новых методик: от М- и В-режимов до 3 и 4D-режимов, позволяющих проводить объемную реконструкцию органа в реальном времени.

Первые публикации об успешной ультразвуковой визуализации структур сердца плода можно отнести к 70-м годам XX века [2, 3, 4]. Были описаны потенциальные возможности пренатальной эхокардиографии в измерении желудочков сердца плода, левого предсердия и аорты, толщины миокарда, амплитуды движения створок клапанов сердца и ударного объема левого желудочка [5, 6].

В 1980 г. были опубликованы результаты по методологии ультразвукового исследования сердца плода, предложены опреде-

ленные анатомические срезы, позволяющие идентифицировать целый ряд структур сердца и магистральных сосудов [7]. Полученные данные были подтверждены секционными материалами плодов-абортусов 12–28 недель беременности. Одним из выводов данной работы явился тезис о необходимости оценки нормальной анатомии сердца плода, являющейся основой для успешной пренатальной диагностики врожденных пороков сердца.

Дальнейшее совершенствование ультразвуковых аппаратов, внедрение новых технологий, позволяющих получать двухмерное изображение сердца плода (В-режим) в сочетании с М-режимом и возможностью проведения измерений анатомических структур, вызвало повышенный интерес к этой теме в научной литературе. Был опубликован ряд статей о необходимости расширения объема рутинного ультразвукового акушерского исследования, в ходе которого предлагалось оценивать не только сердечную деятельность плода, но и анатомию сердечно-сосудистой системы [8, 9, 10, 11, 12]. Параллельно в научной литературе обсуждались вопросы не только описательной анатомии, но и морфометрии прижизненно визуализируемых структур сердца плода. Были проведены измерения правого и левого желудочков сердца, левого предсердия, толщины их миокарда, размеров корня аорты, кардио-торакальных индексов [13, 14, 15]. Ошибки в интерпретации измерений в М-режиме были уменьшены благодаря одновременному использованию В-режима, появилась возможность получения информации о вариантах нормального строения сердца плода и построения номограмм в зависимости от сроков беременности [16, 17, 18, 19]. Тем не менее в ультразвуковой оценке размеров правого и левого желудочков возникли некоторые разногласия: часть исследователей не находила подтверждения теории о преобладании правых отделов сердца у плода [20], другая часть публикаций указывала обратное [21]. Также сообщалось о высокой частоте ложноположительных диагнозов при несоблюдении методики обследования [22], и об относительной точности измерений полученных при эхокардиографии [23].

В последующие годы были получены новые ультразвуковые данные о корреляции размеров аорты, легочного ствола и срока беременности, положения оси сердца плода [24, 25].

Дальнейшее улучшение качества визуализации при проведении пренатальной эхокардиографии, проведение трансвагинальных исследований позволили осуществлять

оценку структур сердца в более ранние сроки беременности [26, 27, 28].

В 1992 году английскими исследователями было проведено одно из первых подробных исследований прижизненной анатомии сердца плода, в ходе которого были получены нормативные показатели ширины и длины левого и правого желудочков, диаметров митрального и трикуспидального клапанов, корня аорты и легочного ствола [29]. При выполнении данной работы исследователи столкнулись с рядом технических трудностей: для адекватной оценки анатомии сердца в М-режиме необходимо было добиваться перпендикулярного расположения изучаемой структуры к плоскости сканирования, что увеличивало время исследования или делало невозможным измерение. В дальнейшем эти проблемы были разрешены: в качестве рутинного инструмента в пренатальной эхокардиографии был предложен В-режим, для которого были получены свои показатели нормативных значений конечных диастолических размеров правого и левого желудочков, диаметров корня аорты, легочного ствола, поперечных размеров предсердий [30].

Внедрение прижизненной объемной реконструкции сердца плода открыло новые возможности при проведении ультразвуковых исследований. Первые публикации показали их высокую диагностическую ценность как при оценке нормальной анатомии, так и при наличии пороков развития сердечно-сосудистой системы [31, 32, 33, 34]. Некоторые сложности при воспроизводимости измерений сердечных структур в М- и В-режимах [35] возлагают на новые 3D и 4D-технологии большие надежды.

Работы в данном направлении представляют большой практический интерес, использование объемных методов при ультразвуковом исследовании обладает рядом преимуществ: меньшая зависимость полученных результатов от уровня подготовки оператора, в том числе благодаря возможности получения точно стандартизированных срезов, возможность отсроченной обработки и анализа информации без увеличения времени исследования, создание базы данных для верификации патологоанатомических, постнатальных диагнозов.

Большинство научных работ по ультразвуковой оценке нормальной анатомии сердца плода последних лет построены на сходных принципах: формирование статистически однородных групп обследуемых беременных женщин, использование современной ультразвуковой аппаратуры, поддерживающей современные технологии получения и обработки объемных изобра-

жений (Spatio-Temporal Imaging Correlation (STIC) – пространственно-временная корреляция изображений), проведение рутинной или расширенной эхокардиографии плода с сохранением информации в электронном виде, дальнейший отсроченный анализ полученных данных при помощи специализированного программного обеспечения.

В 2004 году было опубликовано одно из первых исследований с использованием технологий объемной ультразвуковой реконструкции, в ходе которого оценивалась масса желудочков сердца плода, начиная с 15 недель беременности [36]. В последующие годы проводились работы, посвященные измерению объемов сердца и легких [37], оценке значения углов между артериальным протоком и аортой, аортой и легочным стволом, установлением их взаимосвязи в различные гестационные сроки [38]. Необходимо отметить исследования анатомии межжелудочковой перегородки, в первых работах были представлены новые методики получения ее объемного изображения со стороны правого и левого желудочков [39], а затем была измерена ее площадь и толщина для оценки некоторых пороков сердечно-сосудистой системы и патологических состояний плода [40]. В 2009 году при помощи технологии STIC были получены нормативные значения размеров дуги аорты на уровне оцениваемого в ходе рутинного ультразвукового исследования среза через три сосуда, включающего легочный ствол, аорту и верхнюю полую вену [41].

Внедрение в клиническую практику нового режима, сочетающего технологию STIC и M-режим (cardio-STIC-M), позволило добиться более точных измерений анатомических структур сердца плода. В 2011 году была опубликована первая работа, основанная на данном методе [42], в ходе которой были получены нормативные значения поперечного диаметра сердца, внутренних диаметров правого и левого желудочков, толщины их стенок и межжелудочковой перегородки.

Таким образом, внедрение новых технологий помогает получить лучший уровень визуализации анатомических структур, и постановка диагноза требует более точных и проверенных данных. Представляется перспективным получение данных о гестационной и половой изменчивости прижизненного строения сердца в раннем плодном периоде, формирование региональных нормативов. К сожалению, публикаций российских исследователей в этом направлении найти не удалось.

Комплекс мер, направленных на снижение младенческой смертности, включающий совершенствование ранней кардиохирургической помощи, развитие фетальной хирургии, определяет новый качественный уровень пренатальной диагностики врожденных пороков развития, невозможный без четкого научного обоснования анатомических и топографических характеристик сердечно-сосудистой системы плода человека в норме в различные гестационные сроки. Совершенствование проводимой ультразвуковой диагностики врожденных пороков развития плода в условиях скрининга является одним из перспективных направлений современной медицины.

Список литературы/References

1. Allan L., Benacerraf B., Copel J.A. et al. Isolated major congenital heart disease. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2001; 17:370–379.
2. Garrett W.J., Robinson D.E. Fetal heart size measured in vivo by ultrasound. *Pediatrics* 1970 Jul; 46(1): 25–7.
3. Winsberg F. Echocardiography of the fetal and newborn heart. *Invest Radiol* 1972 May-Jun; 7(3):152–8.
4. Egeblad H., Bang J., Northeved A. Ultrasonic identification and examination of fetal heart structures. *J Clin Ultrasound* 1975 Jun; 3(2): 95–105.
5. Demidov V.N. Possibility of using echography for determining the dimensions of the heart, the amplitude of cuspid valve movement, myocardial thickness and fetal heart stroke volume. *Akush Ginekol (Mosk)* 1979 Sep; (9): 31–3.
6. Yamaguchi D.T., Lee F.Y. Ultrasonic evaluation of the fetal heart. A report of experience and anatomic correlation. *Am J Obstet Gynecol* 1979 Jun 15; 134(4): 422–30.
7. Allan L.D., Tynan M.J., Campbell S., Wilkinson J.L., Anderson R.H. Echocardiographic and anatomical correlates in the fetus. *Br Heart J* 1980; 44: 444–51.
8. Strizhakov A.N., Medvedev M.V., Bunin A.T., Titchenko L.I. Echocardiographic study of the fetal heart in the 3d trimester. *Akush Ginekol (Mosk)* 1985 Apr; (4): 22–4.
9. DeVore G.R., Donnerstein R.L., Kleinman C.S., Platt L.D., Hobbins J.C. Fetal echocardiography. I. Normal anatomy as determined by real-time--directed M-mode ultrasound. *Am J Obstet Gynecol.* 1982 Oct 1; 144(3): 249–60.
10. Hata T., Yamamoto K., Kitao M. Prenatal fetal heart structures identified by two-dimensional echocardiography. *Asia Oceania J Obstet Gynaecol.* 1983 Mar; 9(1): 37–42.
11. Kleinman C.S., Weinstein E.M., Talner N.S., Hobbins J.C. Fetal echocardiography -applications and limitations. *Ultrasound Med Biol.* 1984 Nov-Dec; 10(6): 747–55.
12. Huhta J.C., Hagler D.J., Hill L.M. Two-dimensional echocardiographic assessment of normal fetal cardiac anatomy. *J Reprod Med.* 1984 Mar; 29(3): 162–7.
13. Roczen R.S. Fetal echocardiography: present and future applications. *J Clin Ultrasound.* 1981 May-Jun; 9(5): 223–9.
14. Filkins K.A., Brown T.F., Levine O.R. Real time ultrasonic evaluation of the fetal heart. *Int J Gynaecol Obstet.* 1981 Mar; 19(1): 35–9.
15. Wladimiroff J.W., McGhie J. Ultrasonic assessment of cardiovascular geometry and function in the human fetus. *Br J Obstet Gynaecol.* 1981 Sep; 88(9): 870–5.
16. Allan L.D., Joseph M.C., Boyd E., Cambell S., Tynan M. M-mode echocardiography in the developing human fetus. *Br Heart J* 1982; 47: 573–83.

17. Jeanty P., Romero R., Cantraine F., Cousaert E., Hobbins J.C. Fetal cardiac dimensions: a potential tool for the diagnosis of congenital heart defects. *J Ultrasound Med.* 1984 Aug; 3(8): 359–64.
18. Jeanty P., Romero R., Hobbins J.C. Nomogram for the biventricular dimension of the fetal heart. *J Ultrasound Med.* 1986 Jun; 5(6): 351–3.
19. Jordaan H.V. Cardiac size during prenatal development. *Obstet Gynecol.* 1987 Jun; 69(6): 854–8.
20. St John Sutton M.G., Raichlen J.S., Reichek N., Huff D.S. Quantitative assessment of right and left ventricular growth in the human fetal heart: a pathoanatomic study. *Circulation.* 1984 Dec; 70(6): 935–41.
21. Mandorla S., Narducci P.L., Bracalente B., Pagliacci M. Fetal echocardiography. A horizontal study of biometry and cardiac function in utero. *G Ital Cardiol.* 1986 Jun; 16(6): 487–95.
22. DeVore G.R., Platt L.D. The random measurement of the transverse diameter of the fetal heart: a potential source of error. *J Ultrasound Med.* 1985 Jul; 4(7): 335–41.
23. Allan L.D. Fetal echocardiography: confidence limits and accuracy. *Pediatr Cardiol.* 1985; 6(3): 145–6.
24. Comstock C.H. Normal fetal heart axis and position. *Obstet Gynecol.* 1987 Aug; 70(2): 255–9.
25. Angelini A., Allan L.D., Anderson R., Crawford D.C., Chita S.K., Ho S.Y. Measurements of the dimensions of the aortic and pulmonary pathways in the human fetus: a correlative echocardiographic and morphometric study. *Br Heart J* 1988; 60: 221–6.
26. Dolkart L.A., Reimers F.T. Transvaginal fetal echocardiography in early pregnancy: normative data. *Am J Obstet Gynecol.* 1991 Sep; 165(3): 688–91.
27. Bronshtein M., Siegler E., Eshcoli Z., Zimmer E.Z. Transvaginal ultrasound measurements of the fetal heart at 11 to 17 weeks of gestation. *Am J Perinatol.* 1992 Jan; 9(1): 38–42.
28. Allan L.D., Santos R., Pexieder T. Anatomical and echocardiographic correlates of normal cardiac morphology in the late first trimester fetus. *Heart* 1997; 77: 68–72.
29. Sharland G.K., Allan L.D. Normal fetal cardiac measurements derived by cross-sectional echocardiography. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2 (1992) 175–181.
30. Shapiro I., Degani S., Leibovitz Z., Ohel G., Tal Y. and Abinader E.G. Fetal cardiac measurements derived by transvaginal and transabdominal cross-sectional echocardiography from 14 weeks of gestation to term. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1998; 12: 404–418.
31. Nelson T.R., Pretorius D.H., Sklansky M., Hagen-Ansert S. Three-dimensional echocardiographic evaluation of fetal heart anatomy and function: acquisition, analysis, and display. *J Ultrasound Med.* 1996 Jan; 15(1): 1–9.
32. Deng J., Gardener J.E., Rodeck C.H., Lees W.R. Fetal echocardiography in three and four dimensions. *Ultrasound Med Biol.* 1996; 22(8): 979–86.
33. Sklansky M.S., Nelson T.R., Pretorius D.H. Three-dimensional fetal echocardiography: gated versus nongated techniques. *J Ultrasound Med.* 1998 Jul; 17(7): 451–7.
34. Meyer-Wittkopf M., Cooper S., Vaughan J. and Sholler G. Three-dimensional (3D) echocardiographic analysis of congenital heart disease in the fetus: comparison with cross-sectional (2D) fetal echocardiography *Ultrasound Obstet Gynecol* 2001; 17: 485–492.
35. Simpson J.M. and Cook A. Repeatability of echocardiographic measurements in the human fetus. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2002; 20: 332–339.
36. Bhat A.H., Corbett V., Carpenter N., Liu N., et. al. Fetal ventricular mass determination on three-dimensional echocardiography: studies in normal fetuses and validation experiments. *Circulation.* 2004; 110: 1054–1060.
37. Peralta C., Cavoretto P., Csapo B., Falcon O. and Nicolaides K.H. Lung and heart volumes by three-dimensional ultrasound in normal fetuses at 12–32 weeks' gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2006; 27: 128–133.
38. Espinoza J., Gotsch F., Kusanovic J.P., et al. Changes in fetal cardiac geometry with gestation implications for 3- and 4-dimensional fetal echocardiography. *J Ultrasound Med* 2007; 26: 437–443.
39. Yagel S., Benachi A., Bonnet D., Dumez Y., Hochner-Celnikier D., Cohen S.M. et al. Rendering in fetal cardiac scanning: the intracardiac septa and the coronal atrioventricular valve planes. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2006; 28(3): 266–274.
40. Rolo L.C., Nardoza L.M., Araujo E., Simioni C., Zamith M., Moron A.F. Reference Curve of the Fetal Ventricular Septum Area by the STIC Method: Preliminary Study. *Arq Bras Cardiol* 2011; 96(5): 386–392.
41. Udomwan P., Luewan S., Tongsong T. Fetal aortic arch measurements at 14 to 40 weeks' gestation derived by spatiotemporal image correlation volume data sets. *J Ultrasound Med.* 2009 Dec; 28(12): 1651–6.
42. Luewan S., Yanase Y., Tongprasert F., Srisupundit K. and Tongsong T. Fetal cardiac dimensions at 14–40 weeks' gestation obtained using cardio-STIC-M. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2011; 37: 416–422.

Рецензенты:

Чемезов С.В., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой оперативной хирургии и клинической анатомии им. С.С. Михайлова, ГБОУ ВПО «Оренбургская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения России, г. Оренбург;

Гелашвили П.А., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой морфологии и патологии, НОУ ВПО «Самарский медицинский институт "Реавиз"», г. Самара.

Работа поступила в редакцию 21.01.2013.