

# 电子矩阵探头相关三维超声成像技术在胎儿心脏应用中的进展

汤蕙瑜 孙 雪 张 颖

**摘 要** 先天性心脏缺陷是最常见的胎儿先天性解剖畸形,也是产前超声检查中最易被漏诊的畸形之一。超声成像技术是目前临床上最常用的胎儿心脏检查方法,在先天性心脏病的诊断和筛查中发挥着重要作用。随着计算机科学技术的不断发展,电子矩阵探头的问世,三维超声成像逐渐成为产前筛查和诊断先天性心脏病的关键技术。本文就电子矩阵探头相关三维超声成像技术在胎儿心脏中的应用进展进行综述。

**关键词** 电子矩阵探头;超声成像技术;心脏;胎儿  
[中图法分类号]R445.1 [文献标识码]A

## Progress in the application of electronic matrix probe related three-dimensional ultrasound imaging technology in fetal heart

TANG Huiyu, ZHANG Ying, SUN Xue

Department of Ultrasound, Shengjing Hospital of China Medical University, Shenyang 110004, China

**ABSTRACT** Congenital heart defect is the most common congenital anatomical malformation of the fetus, and it is also one of the malformations that are most easily missed in prenatal ultrasound examination. Ultrasound imaging technology is currently the most commonly used method of fetal heart examination in clinical practice and plays an important role in the diagnosis and screening of congenital heart disease. With the continuous development of computer science and technology and the advent of electronic matrix probe, three-dimensional ultrasound imaging technology is becoming a crucial technique in prenatal screening and diagnosis of congenital heart disease. In this paper, we summarize the recent advances in the application of electronic matrix probe related three-dimensional ultrasound imaging technology in fetal heart.

**KEY WORDS** Electronic matrix probe; Ultrasonic imaging technology; Heart; Fetus

先天性心脏病(congenital heart disease, CHD)是胎儿时期心脏血管发育异常而形成的先天性解剖畸形,是导致婴幼儿死亡的最常见原因<sup>[1]</sup>。目前,二维超声仍是产前诊断CHD最有效的手段<sup>[2]</sup>,随着超声成像技术的不断进步发展,以二维超声为基础的三维超声成像技术在胎儿心脏中的应用越来越广泛。近年来,电子矩阵探头结合三维超声成像技术在显示胎儿心脏立体解剖结构、诊断CHD及临床上针对该类疾病的治疗、评估和预后等方面均有重要的意义,本文就其应用进展进行综述。

### 一、电子矩阵探头的原理及相关超声技术

电子矩阵探头是一种具有多排晶体结构的探头,与机械探头不同,电子矩阵探头以电子方式偏转超声波束扫描预定的容

积区域进行容积数据的采集,较机械探头采集容积数据的速度快,容积数据的分辨率高<sup>[3]</sup>。近年来三维超声成像技术在描绘胎儿心脏的解剖结构细节方面更直观、真实和立体,提高了先天性心脏缺陷的检出率<sup>[4]</sup>。常规扫查胎儿心脏时,四腔心切面是最基础、最重要的切面<sup>[5]</sup>,在此切面上可以观察到房室的大小比例、房室连接关系、房室瓣的位置、开放状态、反流情况等重要信息。但是由于胎儿心脏体积和面积较小,且易受到母体质量指数、胎儿体位、羊水和胎儿呼吸运动等因素的影响,因此该切面的获取较为困难。二、三尖瓣短轴切面作为四腔心切面的重要补充切面,获取更加困难。在进行常规二维超声扫查时,室间隔微小型的缺损、房室瓣结构的微小病变等均不易获得准确诊断。应用电子矩阵探头结合相关三维超声成像技术,可以更为简单地获取胎儿心脏的标准切面,更直观准确地发现

基金项目:辽宁省科学技术项目(2012225098);沈阳市科学技术项目(F16-206-9-11)

作者单位:110004 沈阳市,中国医科大学附属盛京医院超声科

通讯作者:张颖, Email: baogoubei@hotmail.com

胎儿心脏深处的微小病变,有助于胎儿CHD的诊断。

电子矩阵探头可以结合实时4D容积模式(real-time 4D, RT 4D)、时空影像关联技术(spatio-temporal image correlation, STIC)等三维超声成像技术进行三维容积数据的采集。此外,电子矩阵探头还支持一种特殊的实时3D模式——实时“双平面”模式(Bi-Plane),同步显示来自两个不同角度的实时二维超声成像平面,其与RT 4D模式是电子矩阵探头支持获得实时三维成像的两种成像方式。在RT 4D模式下,电子矩阵探头还支持采集并显示一薄层容积数据的图像,即容积对比成像技术(volume contrast imaging, VCI),在该模式下,图像的分辨力和对比度均得到显著提高。

## 二、电子矩阵探头RT 4D模式

电子矩阵探头RT 4D模式在二维超声成像的基础上,应用容积探头采集并获得胎儿心脏容积数据,再对研究部位进行立体重建,从而得到实时动态三维图像<sup>[6]</sup>。其具有数据采集和处理模式瞬时、快速的特点,支持实时切割和旋转,可即时在屏幕上显示胎儿心脏的实时动态三维图像,包括胎儿心脏的搏动情况、观察各室腔及各血管的形态学结构,以及心脏瓣膜的开放、关闭的情况。联合CDFI还可以实时动态显示各血管的彩色血流信号,包括位置、方向、速度,更好地评估血流状态。研究<sup>[7]</sup>证实的儿童和成人心中,RT 4D模式除支持准确量化心室的容积、质量和功能,还可以提高心脏空间结构关系的可视化,这对诊断和临床上治疗CHD具有重要的意义。

对静脉导管先天性发育不良的胎儿,应用RT 4D模式可以清楚地显示胎儿右房的解剖形态结构、连接于右房的所有静脉回流,在评估右房相对大小方面明显优于二维超声,还可以清楚地观察到右房与脐静脉的异常连接。室间隔缺损是最易被漏诊的先天性心脏缺陷,应用RT 4D模式不仅可以准确定位,还可以测量室间隔缺损的面积。研究<sup>[8]</sup>报道了在RT 4D模式下,联合CDFI可以观察到通过缺损处的微小血流,提高了微小室间隔缺损的诊断准确率。另外,在评估瓣膜及其附属结构的动力学功能状态和解剖形态学结构方面,RT 4D模式可显示各瓣叶及其腱索、乳头肌等附着物的形态结构,解释瓣膜的反流机制和起源,还可以很好地描述反流容积的几何特征。应用容积渲染模式,RT 4D模式可以直接实时显示各瓣叶的病理形态图像,如瓣叶增厚、瓣叶呈扇形或卷曲、瓣叶粘连及是否存在异常的附着物等,这在二维超声心动图中无法实现<sup>[9]</sup>。在RT 4D模式下,不仅可以识别出二尖瓣脱垂的胎儿呈扇形或卷曲的脱垂的瓣叶,还可以测量缺陷的程度。同样,RT 4D模式也可以精确地测量二尖瓣口面积,有易于二尖瓣狭窄的诊断<sup>[10]</sup>,同时还可以评估主动脉瓣狭窄、肺动脉瓣、三尖瓣畸形的严重程度。总之,与二维超声比较,RT 4D模式更易于先天性心脏畸形的诊断,其不仅在显示解剖结构方面具有附加价值,还在显示动态形态细节方面具有明显优势,提高了超声心动图评估胎儿心脏的敏感性。RT 4D模式还支持数字存储以及可以进行离线分析等。然而,RT 4D不是单独的一种成像方式,不能替代常规的二维超声成像,只能作为二维成像或CDFI的一种补充手段。

## 三、电子矩阵探头Bi-Plane模式

Bi-Plane是应用于电子矩阵探头的一种特有的新型实时三维超声成像模式<sup>[11]</sup>。操作者全面扫查胎儿心脏时无需移动探头即可在屏幕上同时显示来自同一个心动周期和同一实相的两个不同角度的实时二维切面图像,一般默认为互相垂直正交的两个切面,即可以从两个不同角度实时观察搏动的胎儿心脏<sup>[12]</sup>。四腔心切面作为胎儿心脏检查的常规标准切面,其诊断CHD的敏感性为30%~49%,当结合左、右室流出道切面时可以使诊断敏感性增加到78%~86%<sup>[13]</sup>。应用Bi-Plane模式可使四腔心切面和左室流出道切面同时显示,文献<sup>[14]</sup>也报道以左室流出道为基础切面可以实时显示右室流出道切面。Bi-Plane模式以四腔心切面作为初始切面可同时实时显示二、三尖瓣短轴切面,实时从两个不同角度的不同切面观察房室瓣的位置、形态、结构,测量瓣口面积,评估瓣口的狭窄程度,从而更好地筛查房室瓣畸形<sup>[15]</sup>。另外,Bi-Plane模式应用于胎儿心脏检查过程中,还可以实时显示主动脉弓<sup>[16]</sup>、导管弓及静脉系统的矢状切面,并且可以观察到累及大动脉和纵隔静脉系统的异常,有助于更好地筛查圆锥动脉干畸形、弓动脉畸形及腔静脉畸形。应用Bi-Plane模式还可以诊断胎儿静脉导管先天性发育不全,调整好适当角度,即可实现一个图像显示四腔心切面,另一个图像显示出脐静脉于右房的异常连接和正常的上、下腔静脉情况<sup>[17]</sup>。此外,Bi-Plane模式还可以从两个不同的角度完整地显示室间隔的全貌,联合CDFI更有易于室间隔缺损的诊断<sup>[18]</sup>,观察卵圆瓣的结构并评估通过卵圆瓣的血流状态<sup>[19]</sup>。

Bi-Plane模式的实时显像特点使图像采集过程更为简便,更易显示各种基础切面,具有后处理方式简单、快速的特点。总之,Bi-Plane模式是一种产前有效诊断胎儿CHD的新方法,在获取胎儿心脏切面基本信息方面具有独特的优势,既缩短了检查和后处理时间,又使图像采集过程更为简便<sup>[20]</sup>。但Bi-Plane模式也有一定的局限性,其以二维超声为基础,当左侧初始切面无法获得清晰图像时,右侧与之相垂直的图像质量也受影响,因此对胎位要求较高。当孕妇腹壁过厚时,图像质量的分辨率较差。另外,两个平面的采集角度也有一定的限制。

## 四、STIC技术

STIC技术是一种慢速自动化三维容积采集技术,容积数据在一个单一、慢扫描的过程中获得,主要用于获取跳动的的心脏和搏动的血管容积图像<sup>[21]</sup>。随着电子矩阵探头的发展,STIC技术的采集速度进一步得到提高,称为eSTIC技术,其可以进行脱机后处理,并可以将三维数据采集与时相信息获取相结合,对胎儿心脏及感兴趣区进行动态的三维立体成像<sup>[22]</sup>。当结合CDFI和高分辨血流成像模式<sup>[23]</sup>时,eSTIC技术可通过添加彩色血流重建心脏循环,在显示左室流出道、右室流出道、肺静脉、主动脉弓、导管弓等方面具有明显的优势。高分辨血流成像模式对微小血管的显示较好,可以清楚地显示左、右肺静脉和主动脉弓的分支,有助于肺静脉异位引流和主动脉弓发育畸形的诊断。另外,eSTIC技术与RT 4D模式一样,支持自由切割与重建技术、三维渲染成像技术、多平面重建及断层超声成像等多种后处理技术<sup>[24]</sup>。其结合虚拟器官计算机辅助分析软件可以

测量心室容积、获得射血分数等,还可用于胎儿心脏结构与运动的离线分析。总之,STIC 技术是一种具有心脏门控的三维成像方法,是产前超声诊断的进步,应用 STIC 技术不仅可以更好地诊断 CHD,还可以确定手术部位以及选择合适的手术方法。当然,STIC 技术也有一定的局限性,包括:图像质量易受胎儿运动和孕妇呼吸运动等因素的影响,后处理方式较为繁琐,以及 STIC 容积数据仅包含一个心动周期的电影循环序列,在评估心律失常时常不准确。

### 五、VCI 技术

随着电子矩阵探头的问世,图像分辨力得到了显著提高,在进行静态三维或 RT 4D 的成像时,可以采用 VCI 技术来获取薄层容积信息。VCI 技术是应用于三维超声成像,通过减小并消除斑点噪音来增强某些相似组织结构的对比度来提高对比度分辨率的一种技术<sup>[25]</sup>。其主要优势在于提高了对比度和分辨力,并降低了伪像。赵婧等<sup>[26]</sup>研究发现 VCI 技术对于产前诊断胎儿 1~2 mm 小型室间隔缺损具有良好的诊断价值。且 VCI 技术在显示主动脉弓及头臂血管方面具有明显优势<sup>[27]</sup>。由于 VCI 技术增加了层厚的效应,使胎儿心脏的标准切面更为立体化,更易直观地观察胎儿心脏结构。目前关于 VCI 技术在胎儿心脏中应用的报道较少,其应用价值还需进一步探索。

综上所述,随着科学技术的发展,电子矩阵探头结合三维超声成像技术将在未来获得越来越普遍的应用。将三维超声成像技术应用于胎儿心脏的检查中,可以极大提高胎儿心脏微小结构病变的检出率,增加了诊断的敏感性,对发现先天性胎儿心脏缺陷以及诊断和治疗复杂性先天性心脏畸形均有重要的临床意义。

### 参考文献

- [1] Bishop KC, Kuller JA, Boyd BK, et al. Ultrasound examination of the fetal heart[J]. *Obstet Gynecol Surv*, 2017, 72(1): 54-61.
- [2] Chaoui R, Heling KS. New developments in fetal heart scanning: Three -and four-dimensional fetal echocardiography[J]. *Semin Fetal Neonatal Med*, 2015, 10(6): 567-577.
- [3] Torre RL, Bevilacqua E, D' Ambrosio V, et al. Matrix array transducer for the examination of fetal heart[J]. *Clin Exp Obstet Gynecol*, 2014, 41(5): 581-582.
- [4] 沈利. 三维超声在胎儿心脏成像中的应用[J]. *中国实用医药*, 2015, 10(1): 74-75.
- [5] 吕信笑, 杨崇泽, 贾颖超, 等. 胎儿心脏连续扫查法在产前筛查胎儿先天性心脏病中应用效果[J]. *中国计划生育学杂志*, 2018, 26(9): 98-99.
- [6] Deep B, Franc VDA, Nikola RJ, et al. Fast volumetric imaging using a matrix transesophageal echocardiography probe with partitioned transmit-receive array[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2018, 44(9): 2025-2042.
- [7] 杨军, 张梅. 三维超声心动图在结构性心脏病中的应用[J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(9): 1285-1286.
- [8] 杨静, 刘霞, 许川一, 等. 实时四维超声 STIC 技术对胎儿单纯室间隔缺损的诊断价值[J]. *浙江临床医学*, 2016, 18(6): 1024-1026.
- [9] Hu G, Zhang Y, Fan M, et al. Evaluation of fetal cardiac valve anomalies by four-dimensional echocardiography with spatiotemporal image correlation (4DSTIC) [J]. *Echocardiography*, 2016, 33(11): 1726-1734.
- [10] 陆平. 四维超声检测房室瓣膜的面积和形态在胎儿心脏发育异常诊断中的价值[J]. *现代实用医学*, 2019, 31(6): 751-753.
- [11] 孙雪, 张颖. 实时双平面成像技术测量正常胎儿二尖瓣环面积的应用[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2017, 14(8): 476-479.
- [12] 齐恩林, 马星, 周悦, 等. 实时双平面超声心动图在诊断胎儿单纯室间隔缺损的价值[J]. *医疗装备*, 2015, 28(17): 153-154.
- [13] Carrilho MC, Rolo LC, Tonni G, et al. Assessment of the quality of fetal heart standard views using the FAST, STAR, and FINE four-dimensional ultrasound techniques in the screening of congenital heart diseases [J]. *Echocardiography*, 2019 Dec 24. doi: 10.1111/echo.14574.
- [14] 孙雪, 张润, 张颖, 等. 实时双平面成像技术在胎儿心脏结构筛查中的应用[J]. *生物医学工程与临床*, 2017, 21(5): 45-48.
- [15] Heinen A, Raupach A, Behmenburg F, et al. Echocardiographic analysis of cardiac function after infarction in mice: validation of single-plane long-axis view measurements and the bi-plane simpson method[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2018, 44(7): 1544-1555.
- [16] Dell' Oro S, Verderio M, Incerti M, et al. 2D versus 3D real time ultrasound with live xPlane imaging to visualize aortic and ductal arches: comparison between methods[J]. *Peer J*, 2018, 6(5): e4561.
- [17] Devore GR, Satou G, Sklansky M. 4D fetal echocardiography—An update[J]. *Echocardiography*, 2017, 34(12): 1788-1798.
- [18] 易艳, 熊奕, 刘涛, 等. 新型矩阵探头显示胎儿室间隔全貌的研究[J]. *中国现代医学杂志*, 2014, 24(2): 71-73.
- [19] 雷文嘉, 张颖, 王彧, 等. 实时三维超声双平面技术评价胎儿卵圆孔处血流的应用[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2017, 14(9): 548-551.
- [20] 孙雪, 张颖, 雷文嘉, 等. 实时双平面成像技术在胎儿心脏结构筛查中的应用[J]. *生物医学工程与临床*, 2017, 21(5): 491-494.
- [21] Qin Y, Zhang Y, Zhou X, et al. Four-dimensional echocardiography with spatiotemporal image correlation and inversion mode for detection of congenital heart disease [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2014, 40(7): 1434-1441.
- [22] 王媛, 赵旭, 杨娅, 等. 超声时间-空间关联成像技术及三维超声在胎儿先天性心脏畸形与心外畸形诊断中的应用[J]. *中国全科医学杂志*, 2019, 22(3): 109-113.
- [23] Sun X, Zhang Y, Fan M, et al. Role of four-dimensional echocardiography with high-definition flow imaging and spatiotemporal image correlation in detecting fetal pulmonary veins [J]. *Echocardiography*, 2017, 34(6): 906-914.
- [24] Araujo Júnior E, Tonni G, Bravo-Valenzuela NJ, et al. Assessment of fetal congenital heart diseases by 4-dimensional ultrasound using spatiotemporal image correlation [J]. *Ultrasound Q*, 2018, 34(1): 11-17.
- [25] 姚彩, 王继伟, 刘燕娜. 自由解剖平面联合容积对比成像的概述及应用[J]. *中华医学超声杂志*, 2018, 15(9): 644-648.
- [26] 赵婧, 白艳, 石涛, 等. Omniview 技术在胎儿单纯性室间隔缺损诊断中的应用价值[J]. *中国超声医学杂志*, 2015, 31(4): 351-354.
- [27] 谢红宁. 三维超声在产前诊断的应用[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2018: 108-114.

(收稿日期: 2019-03-29)