

Prenatal diagnosis of aortic arch malformation using tomographic ultrasound imaging

QI Yu, WANG Yu, ZHANG Ying*

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

[Abstract] **Objective** To explore the value of spatio-temporal image correlation (STIC) with tomographic ultrasound imaging (TUI) technique in diagnosis of fetal aortic arch malformation. **Methods** Ultrasonic data of 45 fetuses diagnosed as aortic arch malformation were reviewed retrospectively. Three-vessel and trachea view of 2D echocardiography (2DE) were used to analyze the aortic arch position in relation to the trachea, and to find the aberrant brachiocephalic arteries. Volume data were obtained, and TUI reconstruction was used to form transverse and coronal TUI slices to observe the arch position, the aberrant left or right subclavian arteries, the origin and convergence of bilateral aortic arches. **Results** Totally 5 fetuses of double aortic arch, 9 fetuses of left aortic arch with aberrant right subclavian arteries and 31 fetuses of right aortic arch were included. The accuracy rate of STIC-TUI in diagnosis of fetal aortic arch anomalies was significantly higher than that of 2DE (97.78% [44/45] vs 71.11% [32/45]; $P < 0.01$). **Conclusion** Fetal aortic arch malformation can be accurately diagnosed using STIC-TUI, which can be widely used with standardized post-analysis in the future.

[Keywords] fetus; heart; aortic arch malformation; ultrasonography, prenatal; tomographic ultrasound imaging

DOI: 10.13929/j.1003-3289.201903231

超声断层显像技术诊断胎儿主动脉弓畸形

齐 禹, 王 彧, 张 颖*

(中国医科大学附属盛京医院超声科, 辽宁 沈阳 110004)

[摘要] **目的** 探讨时空影像关联(STIC)技术结合超声断层显像(TUI)诊断胎儿主动脉弓异常的价值。**方法** 回顾性分析 45 胎主动脉弓畸形胎儿的产前超声资料。以二维超声心动图(2DE)于三血管-气管切面判断主动脉弓相对于气管的位置,寻找异常头臂动脉。以 STIC 技术采集容积数据后,分别在横断面及冠状面行 TUI 重建,于横断面 TUI 切面判断弓的位置;于冠状面 TUI 切面寻找迷走左、右锁骨下动脉及双侧主动脉弓汇合处。**结果** 45 胎中,5 胎双主动脉弓,9 胎左位主动脉弓合并右锁骨下动脉迷走,31 胎右位主动脉弓。STIC-TUI 法及 2DE 对胎儿主动脉弓畸形的诊断率分别为 97.78%(44/45)及 71.11%(32/45),差异有统计学意义($P < 0.01$)。**结论** STIC-TUI 法可准确诊断胎儿主动脉弓畸形;标准化容积数据后处理方法使临床推广成为可能。

[关键词] 胎儿;心脏;主动脉弓异常;超声检查,产前;超声断层显像

[中图分类号] R714.53; R445.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2019)09-1305-05

胎儿主动脉弓畸形指与主动脉弓位置和/或主动脉头臂血管发出异常相关的一系列先天畸形,临床常

见者为双主动脉弓(double aortic arch, DAA)、右位主动脉弓(right aortic arch, RAA)、左位主动脉弓

[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)。

[第一作者] 齐禹(1995—),女,辽宁锦州人,在读硕士。研究方向:产前胎儿心脏超声。E-mail: 1260637073@qq.com

[通信作者] 张颖,中国医科大学附属盛京医院超声科,110004。E-mail: 81544998@qq.com

[收稿日期] 2019-03-29 **[修回日期]** 2019-07-26

(left aortic arch, LAA) 伴右锁骨下动脉迷走 (aberrant right subclavian artery, ARSA) 以及食管后主动脉弓等。部分主动脉弓畸形可形成血管环压迫胎儿食管、气管等纵隔结构而导致临床症状,且此类胎儿合并染色体异常风险增大,故产前筛查主动脉弓畸形具有重要意义。目前国内产妇产前诊断中心已广泛应用序列横断面扫查法筛查及诊断胎儿先天性心脏病 (congenital heart disease, CHD),从四腔心切面向上连续扫查至三血管-气管 (three-vessel and trachea, 3VT) 切面,可有效诊断绝大多数胎儿 CHD^[1-2]。但主动脉弓畸形常伴有主动脉分支异常,常规横断面扫查不能检出全部主动脉弓畸形^[3]。时空影像关联 (spatiotemporal image correlation, STIC) 技术是用于胎儿心脏检查的一种三维采集技术^[4-5],通过采集胎儿心脏容积数据并对其进行恰当后处理,可获取胎儿心脏重要诊断切面。超声断层显像 (tomographic ultrasound imaging, TUI) 技术通过一系列相互平行的平面展示三维容积数据包含的信息。本研究评价 STIC 结合 TUI 技术诊断胎儿主动脉弓畸形的价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2017 年 1 月—2018 年 12 月我院经引产或出生后诊断为单纯主动脉弓畸形的 48 胎单胎妊娠胎儿,均接受常规二维超声心动图 (two dimension echocardiography, 2DE) 和 STIC 检查,其中 3 胎因容积数据质量较差而被剔除;孕妇孕周 18~28 周,平均 (23.00±1.62) 周;年龄 24~38 岁,平均 (31.0±3.5) 岁。

1.2 仪器与方法 采用 GE Voluson E10 彩色超声诊断仪,电子凸阵二维探头及三维容积探头,频率 2~5 MHz。行常规胎儿超声检查,除外各种心外畸形。

1.2.1 2DE 检查 判定胎儿内脏、心脏位置后,获取从胎儿四腔心切面至 3VT 切面标准断面,在 3VT 切面上应用二维灰阶显像结合彩色血流显像,观察主动脉弓相对于气管的位置及有无发出异常头臂动脉^[6-7]。

1.2.2 三维超声容积采集 在胎儿主动脉弓切面采集心脏容积数据,开启高分辨血流成像 (high-definition flow imaging, HDFI) 模式,容积扫查角度 30°~45°,扫描时间 10.0~12.5 s。嘱孕妇屏气后自动完成扫描,尽量排除运动伪差及声影伪差的干扰。将所获容积数据存储至机器硬盘并拷贝。

1.3 容积数据后处理及分析 采用 4D Viewer 14.0 软件对容积数据进行分析,自动以多平面模式显示图

像,其中 A 格图像为采集初始面(矢状面),B 格(横断面)、C 格(冠状面)图像与 A 格图像均呈相互正交关系。A 格显示完整主动脉弓后,将参考点置于降主动脉起始部(图 1A)。将 y 轴顺时针或逆时针旋转 90°以显示 3VT 切面。旋转 z 轴使脊柱位于正下方,此时 B 格内显示胎头向右的矢状面,故可确定其内胎儿的左、右位置关系。以“壁龛”模式在 D 格内显示 3 个相互正交的平面,可确定横断面与冠状面的左、右位置关系。在 A 格及 C 格内标注左、右位置(图 1B)。以横断面为参考面开启 TUI,观察主动脉弓相对于气管的位置(图 1C);以冠状面为参考面开启 TUI,在各层切面中观察异常发出的头臂动脉(图 1D)。由 2 名有 5 年心脏超声诊断经验的医师以盲法分别读取 2DE 影像资料并进行三维容积数据后处理和分析,并与出生后检查结果或尸体检查结果对照。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 17.0 统计分析软件。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 χ^2 检验比较 2DE 与 TUI 法诊断率的差异。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

45 胎中,7 胎引产并经尸体检查证实,其中 3 胎为 DAA,3 胎为 LAA 合并 ARSA,1 胎为 RAA;38 胎出生后经超声心动图和/或 CTA 证实,其中 DAA 2 胎,RAA 合并左锁骨下动脉迷走 (aberrant left subclavian artery, ALSA) 21 胎,RAA 合并左无名动脉 (left innominate artery, L-INA) 9 胎,LAA 合并 ARSA 6 胎。

38 胎接受染色体检查,1 胎 RAA 合并 ALSA 及 2 胎 ARSA 胎儿为 22q11 缺失,1 胎 ARSA 胎儿为 21-三体,余 34 胎未见染色体异常。

2.1 2DE 与三维超声结合 TUI 技术对主动脉弓畸形胎儿的诊断率 2DE 正确诊断 32 胎主动脉弓畸形 (32/45, 71.11%)。5 胎 DAA,产前正确诊断 3 胎,另 2 胎误诊为 RAA。31 胎 RAA,21 胎可显示位于右位的主动脉弓及头臂动脉异常发出形式;7 胎仅见主动脉弓位于右位,但不能明确头臂动脉异常发出;另 3 胎误诊为 DAA。9 胎 ARSA 中,产前正确诊断 8 胎,漏诊 1 胎。45 胎主动脉弓畸形中,TUI 产前正确诊断 44 胎 (44/45, 97.78%),仅 1 胎 RAA 合并 ALSA 未能明确头臂动脉异常分支。三维超声结合 TUI 对胎儿主动脉弓畸形的诊断率显著高于 2DE ($\chi^2 = 10.08$, $P < 0.01$)。

2.2 主动脉弓畸形的产前超声表现

2.2.1 DAA 横断面上(TUI 重建图及 3VT 切面)均

可显示双侧主动脉弓包绕气管形成完整血管环(图 1C),冠状面 TUI 上可显示双侧主动脉弓分别发出各侧头臂动脉(图 1D)。

2.2.2 RAA 合并 ALSA 横断面 TUI 部分切面显示主动脉弓位于气管右侧(图 2A),冠状面 TUI 部分切面分别显示降主动脉起始部发出 ALSA(图 2B),2DE 的 3VT 平面亦可显示主动脉弓位于气管右侧,与动脉导管包绕气管(图 2C)。于 3VT 平面轻微旋转一定角度,可见从降主动脉起始部发出的 ALSA(图 2D)。

2.2.3 RAA 合并 L-INA 横断面 TUI 部分切面显示主动脉弓位于气管右侧(图 3A),冠状面 TUI 部分切面显示 L-INA 从升主动脉发出(图 3B),2DE 的 3VT 平面显示主动脉弓位于气管右侧,但未能观察到 L-INA 发出。

2.2.4 LAA 合并 ARSA 横断面 TUI 部分切面显示主动脉弓位于气管左侧(图 4A),冠状面 TUI 部分切面可显示降主动脉起始部发出 ARSA(图 4B),2DE 的 3VT 平面亦可显示主动脉弓位于气管左侧,ARSA 从降主动脉发出并走行于气管后方。

3 讨论

诊断胎儿主动脉弓畸形一直是产前诊断的难点。当前大多数产前诊断中心已使用横断面连续扫查法筛查及诊断胎儿 CHD,其中 3VT 切面对于判定大血管与食管、气管的空间位置关系具有重要作用^[8]。正常胎儿主动脉弓与动脉导管呈“V”型汇合于气管左侧。发现主动脉弓与动脉导管呈“U”型汇合一般可诊断为 RAA,此时主动脉弓与动脉导管分别位于气管右侧及左侧^[9]。但 3VT 切面扫查范围比较局限,不能显示主动脉弓上方区域,因此难以显示主动脉弓分支血管。胎儿存在主动脉弓畸形时,仅凭 3VT 切面很难做出完整及明确的诊断。本组 2DE 对 RAA 的诊断率为 67.74%(21/31),提示仅靠 3VT 切面有明显局限性,且 2DE 将 40.00%(2/5)DAA 误诊为 RAA、9.67%(3/31)RAA 误诊为 DAA,提示二者易被混淆。DAA 胎儿右侧主动脉弓多发育较好,内径较粗大,但大多数情况下存在左侧主动脉弓发育不良伴内径狭窄,此时易被误诊为 RAA;相反,RAA 合并 L-INA 的左侧分支在横断面扫查时可能被误认为 DAA 的左侧主动脉弓而误诊为 DAA。

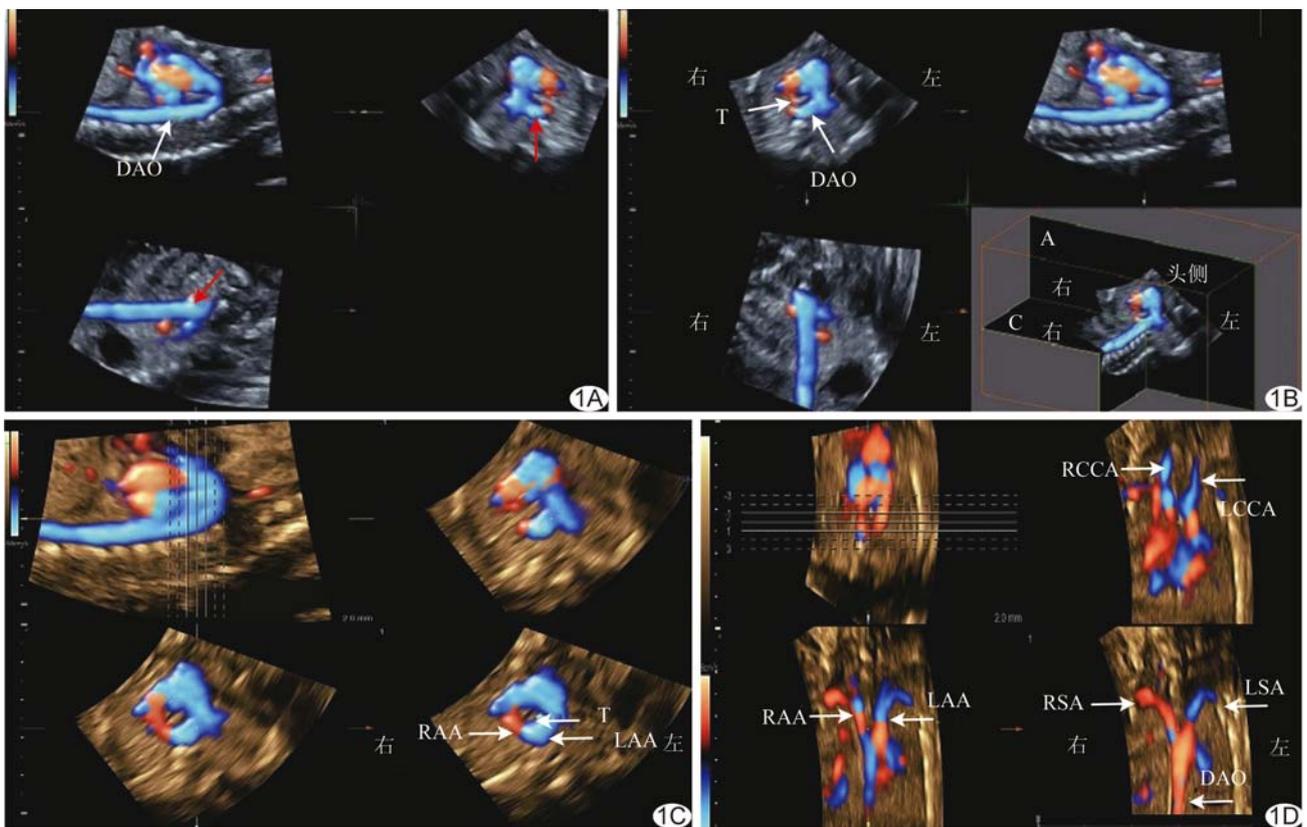


图 1 孕 26 周,DAA 胎儿 A. 显示完整的主动脉弓后,将参考点(红箭)放置于降主动脉起始部; B. 旋转 A 平面的 y 轴,确定 B 平面中的胎方位; C. 横断面 TUI 部分切面显示主动脉弓位于气管右侧; D. 冠状面 TUI 部分切面显示头臂动脉发出 (DAO:降主动脉;LAA:左侧主动脉弓;LCCA:左颈总动脉;LSA:左锁骨下动脉;RAA:右侧主动脉弓;RCCA:右颈总动脉;RSA:右锁骨下动脉;T:气管)

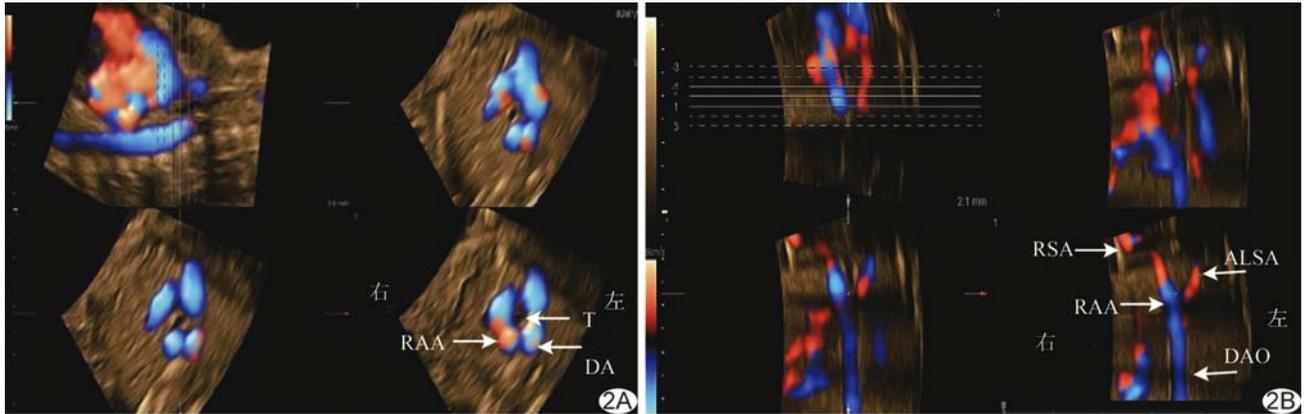


图 2 孕 25 周, RAA 合并 ALSA 胎儿
 A. 横断面 TUI 示主动脉弓位于气管右侧;
 B. 冠状面 TUI 示降主动脉起始部发出 ALSA;
 C. 二维超声 3VT 切面示 RAA 与 DA 包绕气管, 形成“U”型环;
 D. 连续扫查发现 ALSA 从降主动脉起始部发出
 (ALSA: 左锁骨下动脉迷走; DA: 动脉导管; DAO: 降主动脉; RAA: 右位主动脉弓; RSA: 右锁骨下动脉; T: 气管)

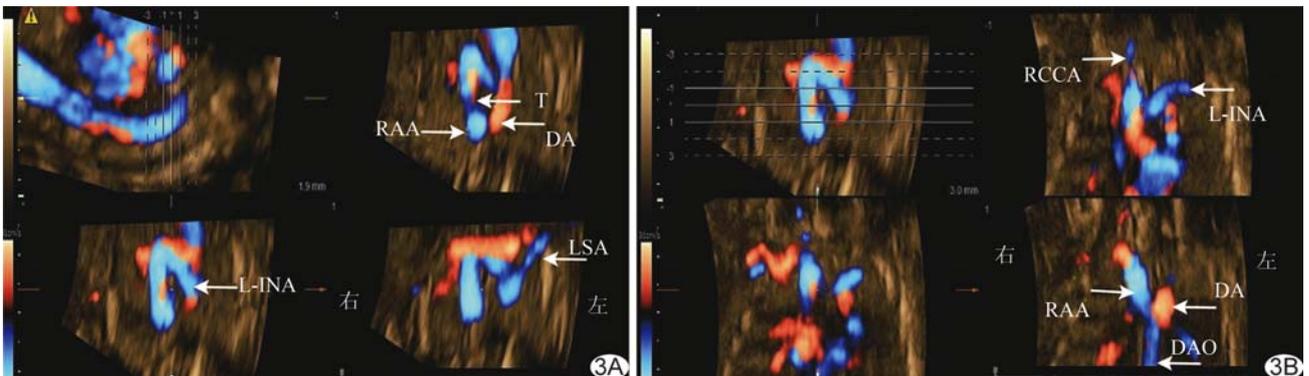


图 3 孕 28 周, RAA 合并 L-INA 胎儿
 A. 横断面 TUI 示主动脉弓位于气管右侧;
 B. 冠状面 TUI 示 L-INA 从升主动脉发出
 (DA: 动脉导管; L-INA: 左无名动脉; LSA: 左锁骨下动脉; RAA: 右位主动脉弓; RCCA: 右颈总动脉; T: 气管; DAO: 降主动脉)

在 3VT 切面行连续扫查, 轻微旋转探头声束, 有可能发现从降主动脉发出的 ALSA 和 ARSA。但 ALSA 起始部一般为膨大的憩室, 其远端向左侧肩胛走行, 难以显示而致诊断困难^[10]。相对而言显示 ARSA 较易, 但若声束与血流方向垂直亦可漏诊。降低彩色血流量程可提高 ALSA 及 ARSA 的检出率。Bravo 等^[11] 提出在常规胎心检查切面中增加锁骨下动脉切面, 可更好地观察正常及异常发出的锁骨下动脉, 但需要一定技巧, 临床推广难度较大。

ALSA 及 ARSA 均发自降主动脉, 分别向左上方

及右上方走行, 理论上沿降主动脉起始部的冠状切面是最佳显示切面, 且可观察 DAA 胎儿双侧主动脉弓汇入降主动脉。3VT 切面结合冠状切面对胎儿血管环畸形的诊断率达 100%^[12-14]。冠状面扫查具有极大优势, 但常规二维扫查时较难获取该切面, 或获取标准冠状面的难度较大, 这也是采用三维方法呈现标准化切面的原因之一。

STIC 技术可利用一次自动扫描获得容积数据, 并经恰当后处理得到所需诊断切面, 或进行三维渲染重建, 得到相关解剖结构的三维立体图像^[15]。本研究

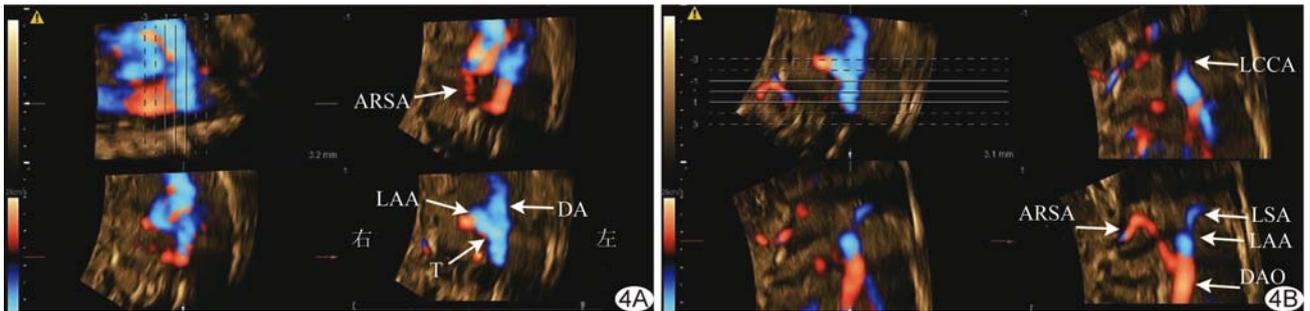


图 4 孕 26 周, LAA 合并 ARSA 胎儿 A. 横断面 TUI 示主动脉弓位于气管左侧; B. 冠状面 TUI 示 DAO 起始部发出 ARSA (ARSA: 右锁骨下动脉迷走; DAO: 降主动脉; LAA: 左位主动脉弓; LCCA: 左颈总动脉; LSA: 左锁骨下动脉; T: 气管; DA: 动脉导管)

利用 STIC 技术结合 TUI 重建对容积数据在横断面、矢状面或冠状面进行连续切割, 类似 MRI 的标准断面, 使得获取胎儿心脏标准切面成为可能。在横断面行 TUI 重建相当于在 3VT 切面基础上行连续扫查, 可明确大血管与气管的空间关系; 在冠状面行 TUI 重建可明确主动脉弓血管的分支, 自前向后的冠状面切割可依次显示正常主动脉弓的分支血管, 存在主动脉弓畸形时, ALSA、ARSA 及双侧主动脉弓汇合处一般出现于最后 1~2 层图像, 与 2DE 法比较可降低扫查难度。

本研究采用标准化 TUI 三维重建方法, 大大降低了容积数据的后处理难度, 有利于推广应用。利用 TUI 技术得到的切面类似于标准化 MRI, 有利于医师间交流^[16]; 标准化后处理模式使得图像分析过程标准化、统一化, 这也是 STIC 技术在胎儿心脏领域未来研究的重点。

综上所述, 采用三维 STIC 技术及 TUI 后处理方式可有效检出胎儿主动脉弓畸形, 是 2DE 的有益补充, 具有广阔临床应用前景。

[参考文献]

[1] Yagel S, Cohen SM, Achiron R. Examination of the fetal heart by five short-axis views: A proposed screening method for comprehensive cardiac evaluation. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2001, 17(5):367-369.
 [2] 覃仕强, 陈康红. 三血管及三血管气管切面在超声产前诊断胎儿心脏大血管畸形中的应用价值. *影像研究与医学应用*, 2018, 2(6):109-110.
 [3] 张颖, 王彧. 胎儿主动脉弓离断的产前超声诊断. *中国介入影像与治疗学*, 2016, 13(7):426-429.
 [4] DeVore GR, Satou G, Sklansky M. Fetal echocardiography—An

update. *Echocardiography*, 2017, 34(12):1788-1798.
 [5] Zhao LQ, Wu Y, Chen Sun, et al. Feasibility study on prenatal cardiac screening using four-dimensional ultrasound with spatiotemporal image correlation: A multicenter study. *PLoS One*, 2016, 11(6):e0157477.
 [6] 张颖, 王彧, 王美莲. 三维容积超声结合彩色多普勒技术在正常胎儿主动脉弓和头臂血管发出检查中的应用. *中国医科大学学报*, 2016, 45(6):531-534.
 [7] Zhang D, Zhang Y, Ren W, et al. Prenatal diagnosis of fetal interrupted aortic arch type A by two-dimensional echocardiography and four-dimensional echocardiography with B-flow imaging and spatiotemporal image correlation. *Echocardiography*, 2016, 33(1):90-98.
 [8] 李文秀, 耿斌, 吴江, 等. 双主动脉弓的产前超声心动图诊断. *中国超声医学杂志*, 2017, 33(3):278-281.
 [9] Jain S, Kleiner B, Moon-Grady A, et al. Prenatal diagnosis of vascular rings. *J Ultrasound Med*, 2010, 29(2):287-294.
 [10] De León-Luis J, Gámez F, Bravo C, et al. Second-trimester fetal aberrant right subclavian artery: Original study, systematic review and meta-analysis of performance in detection of Down syndrome. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2014, 44(2):147-153.
 [11] Bravo C, Gamez F, Perez R, et al. Fetal aortic arch anomalies: Key sonographic views for their differential diagnosis and clinical implications using the cardiovascular system sonographic evaluation protocol. *J Ultrasound Med*, 2016, 35(2):237-251.
 [12] 陈琳, 周柳英, 杨泽莹, 等. 超声新技术诊断胎儿双主动脉弓的价值探讨. *中国超声医学杂志*, 2017, 7(33):657-659.
 [13] 罗欢, 佟彤, 易艳, 等. 产前超声诊断胎儿右位主动脉弓并右位动脉导管. *中国介入影像与治疗学*, 2017, 14(1):35-38.
 [14] 阳立文, 周柳英, 陈琳, 等. 三血管气管切面联合弓降部冠状切面对主动脉弓及分支畸形的产前诊断应用价值. *实用医院临床杂志*, 2018, 15(1):72-75.
 [15] 张颖, 王彧. 高分辨血流成像结合三维超声对胎儿主动脉弓及头臂动脉显示. *影像诊断与介入放射学*, 2016, 25(4):267-271.
 [16] 张颖, 蔡爱露, 李婷, 等. 自动四维彩色容积超声在胎儿心脏检查中的应用. *中国医学影像技术*, 2009, 25(7):1273-1275.