

- Thorac Surg, 1997,63(1):269-276
- 6 Yamauchi H. Changes in immune - endocrine response after surgery [J]. Cytokine, 1998,10(7):549-554
 - 7 Yim AP. VATS lobectomy reduces cytokine responses compared with conventional surgery[J]. Ann Thorac Surg, 2000,70(1):243-247
 - 8 Sugi K, Kaneda Y, Esato K. Video - assisted thoracoscopic lobectomy reduces cytokine production more than conventional open lobectomy [J]. Jpn J Thorac Cardiovasc Surg, 2000,48(3):161-165
 - 9 Craig SR. Acute phase responses following minimal access and conventional thoracic surgery [J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2001,20(3):455-463
 - 10 Leaver HA. Lymphocyte responses following open and minimally invasive thoracic surgery[J]. Eur J Clin Invest, 2000,30(3):230-238
 - 11 Ng CS. Thoracotomy is associated with significantly more profound suppression in lymphocytes and natural killer cells than video - assisted thoracic surgery following major lung resections for cancer[J]. J Invest Surg, 2005,18(2):81-88
 - 12 Demmy TL. Discharge independence with minimally invasive lobectomy[J]. Am J Surg, 2004,188(6):698-702
 - 13 Whitson BA. Thoracoscopic versus thoracotomy approaches to lobectomy: differential impairment of cellular immunity [J]. Ann Thorac Surg, 2008,86(6):1735-1744
 - 14 Ito Y. Reduced perioperative immune response in video - assisted versus open surgery in a rat model[J]. Surg Today, 2009,39(8):682-688
- (收稿日期:2012-04-17)
(修回日期:2012-06-18)

STIC 技术联合 SonoAVC、VOCAL 法和单平面 Simpson 法 对中孕期正常胎儿左心室容积测量的研究

高凌云 赵雅萍 肖莉莉 何慧疗 张其敏 尹海辉 林桂凤

摘 要 **目的** 利用四维时空关联成像技术(STIC)联合单平面 Simpson 法、虚拟器官计算机辅助分析(VOCAL)及超声自动容积测量技术(SonoAVC)测量中孕期正常胎儿左心室容积,分析 3 种测量方法的一致性和可靠性。**方法** 清晰显示胎儿四腔心切面后应用 STIC 技术以胎儿四腔心切面为初始平面动态采集心脏的全容积图像,存于硬盘中。分别采用单平面 Simpson 法、VOCAL 法及 SonoAVC 法测定 70 例 20⁺周~27⁺周正常单胎胎儿左心室容积,并计算出左心室每搏输出量(SV)。随机选出 20 例胎儿 1 周后进行重复测量,并由另 1 名测量者进行测量。以 Bland-Altman 图评估测量的一致性。以组内相关系数(ICC)评估 3 种方法的可靠性。**结果** 同一测量者使用 3 种方法测量正常中孕期胎儿左心室容积的结果无统计学差异($P>0.05$)。应用 Bland-Altman 分析 2 名观察者测量左心室每搏输出量的一致性,SonoAVC 法的系统偏倚及一致界限较单平面 Simpson 法和 VOCAL 法好(单平面 Simpson 法平均差值:-0.005ml,95%可信区间:-0.098~0.088ml;VOCAL 法平均差值:-0.002ml,95%可信区间:-0.106~0.103ml;SonoAVC 法平均差值:-0.004ml,95%可信区间:-0.085~0.078ml)。同一观察者 3 种方法测量左心室每搏输出量的可靠性比较,其观察者内 ICC 值以 SonoAVC 法居高(单平面 Simpson 法 ICC:0.979, 95%可信区间:0.948~0.992;VOCAL 法 ICC:0.972, 95%可信区间:0.920~0.989;SonoAVC 法 ICC:0.982, 95%可信区间:0.954~0.993)。2 名观察者间 3 种方法测量重复性比较,其观察者间 ICC 值以 SonoAVC 法较高(单平面 Simpson 法 ICC:0.975,95%可信区间:0.937~0.990;VOCAL 法 ICC:0.967,95%可信区间:0.917~0.987;SonoAVC 法 ICC:0.981, 95%可信区间:0.951~0.992)。**结论** 使用 STIC 技术联合 3 种方法测量胎儿左心室容积,其一致性和可靠性均较高,不受测量者经验的限制,均能准确测量胎儿左心室容积,可成为胎儿心功能检查的首选方法。

关键词 时空关联成像 超声心动图 胎儿 心室容积

Analysis of Normal Fetal Left Ventricular Volume in the Second Trimester Using Spatiotemporal Image Correlation Modality with SonoAVC, VOCAL and Simpson Methods. Gao Lingyun, Zhao Yaping, Xiao Lili, He Huiliao, Zhang Qimin, Yin Haihui, Lin Guifeng. Department of Ultrasonography, The Second Affiliated Hospital of Wenzhou Medical College, Zhejiang 325000, China

Abstract Objective To compare the agreement and reliability of normal fetal left ventricular volumes in the second trimester obtained by spatial-temporal image correlation (STIC) acquisition with Simpson method, virtual organ computer-aided analysis (VOCAL) and sonographic automatic volume calculation (SonoAVC), respectively. **Methods** As classical four-chamber view was obtained

作者单位:325000 温州医学院附属第二医院超声科

通讯作者:赵雅萍,主任医师,电子信箱:jane1953@sohu.com

clearly in 2D, region of interest was selected and STIC acquisition was initiated to acquire fetal ventricular volume, and stored in hard disks. 70 fetal left ventricular volumes during 20⁺¹ to 27⁺⁶ weeks were measured with Simpson method, VOCAL and SonoAVC, respectively, and the left ventricular stroke volume were calculated. After 1 week from the first analysis, 20 fetal left ventricular volumes were repeated by the same investigator, blinded to the previous measurements. Bland – Altman plots were used to stand for the agreement, and intraclass correlation coefficient (ICC) was used to assess the reliability of three methods. **Results** There was no significant difference in left ventricular volume value among the three techniques ($P > 0.05$). The interobserver agreement of left ventricular stroke volume (SV) was showed by the Bland – Altman plots, the measurement error of SonoAVC was better than Simpson rules and VOCAL (Simpson's rules: -0.005ml , 95% CI: $-0.098 \sim 0.088\text{ml}$; VOCAL: -0.002ml , 95% CI: $-0.106 \sim 0.103\text{ml}$; SonoAVC: -0.004ml , 95% CI: $-0.085 \sim 0.078\text{ml}$). Left ventricular volumes obtained with SonoAVC had better reliability by the same observer (Simpson's rules ICC: 0.979, 95% CI: 0.948 ~ 0.992; VOCAL ICC: 0.972, 95% CI: 0.920 ~ 0.989; SonoAVC ICC: 0.982, 95% CI: 0.954 ~ 0.993). Left ventricular volumes obtained with SonoAVC had better reliability by different observer (Simpson's rules ICC: 0.975, 95% CI: 0.937 ~ 0.990; VOCAL ICC: 0.967, 95% CI: 0.917 ~ 0.987; SonoAVC ICC: 0.981, 95% CI: 0.951 ~ 0.992). **Conclusion** Fetal echocardiography using STIC acquisitions with Simpson's rules, VOCAL and SonoAVC allows repeatable and reproducible calculation. The agreement and reliability with three methods were relatively high, free of strict of observer's experience, and could measure fetal left ventricular volume accurately, will become the methods of choice for measuring fetal ventricular volume.

Key words Spatiotemporal image correlation; Echocardiography; Fetal; Ventricular volume

时空关联成像 (spatio – temporal image correlation, STIC) 技术是一种专门用于胎儿心脏检查的实时三维成像技术, 可以获得一个心动周期中的舒张末期及收缩末期时相, 进行心室容积测量^[1]。准确测量胎儿心室容积对评估正常胎儿的心脏发育情况有重要价值, 对于心血管畸形胎儿的产前诊断、预后评估至关重要。使用 STIC 技术测量胎儿左心室容积的一致性 & 可靠性分析目前尚处于初步阶段。本研究应用 STIC 技术联合单平面 Simpson 法, VOCAL 法及 SonoAVC 法分别测量正常胎儿左心室舒张末期及收缩末期的容积, 旨在探讨 STIC 技术联合以上 3 种方法测量正常胎儿左心室容积的一致性和可靠性。

资料与方法

1. 研究对象: 2011 年 6 月 ~ 2012 年 4 月在笔者医院进行中孕期超声检查的正常单胎胎儿中随机选取 70 例, 胎儿孕周 20 ~ 28 周, 平均 23.19 ± 2.06 周。选取标准: ①孕妇身体健康, 无妊娠合并症, 心肝肾功能正常; ②单胎妊娠; ③孕周根据末次月经及早孕期首次超声检查结果确定; ④孕周 20⁺¹ ~ 27⁺⁶ 周; ⑤经产科常规超声检查及临床检查无明显异常, 所有胎儿生长发育指标估测胎龄均与孕龄相符; ⑥胎儿超声心动图检查心脏及心率均正常。所有检查均征得孕妇及家属同意, 并签署知情同意书。

2. 仪器与研究方法: (1) 仪器: 采用 GE Voluson E8 彩色多普勒超声诊断仪, 采用 RAB4 ~ 8L 凸阵容积探头, 频率 4 ~ 8MHz。 (2) 数据采集: 二维模式下清晰显示胎儿四腔心切面后, 启动 4D STIC 模式, 适当调节放大倍数, 采集时间设为 10 ~ 12.5s, 采集角度设为 20° ~ 30°, 原则将胎儿整个心脏都包含于所采集的数据内, 操作时应根据情况调整采集角度。在胎儿静止时, 嘱孕妇平静呼吸下屏住气, 进行图像采集。采集中不使用彩色多普勒。进行颜色过滤及亮度对比调节, 将无

运动伪影及信号丢失的图像纳入分析。 (3) 数据分析处理: 将采集的容积数据存至后处理工作站, 采用 GE 4D View 10.3 版本后处理软件进行分析。在正交三平面模式下, 调节图像亮度及对比度, 使图像质量达到最优化。旋转 X、Y、Z 轴使 A 平面上胎儿心尖朝上, 左心室位于屏幕左侧, 室间隔与水平方向垂直。通过观察二尖瓣的开闭判断心动周期的舒张末期及收缩末期时相, 由 2 位水平相当的超声科医师分别应用以下 3 种方法测量胎儿的左心室舒张末期容积及收缩末期容积, 并计算左心室每搏输出量 (SV)。 (4) 左心室容积的测量方法: ①单平面 Simpson 法: 选择心脏测量菜单下的左心室单平面 Simpson 法, 在 A 平面图像手动描记心内边界, 计算机系统自动计算左心室容积, 如图 1、图 2; ②VOCAL 模式: 选择 VOCAL II 模式下的手动描记模式, 旋转角度设为 30°, 描记左心室内侧边界, 最后获得重建的虚拟心室重建图及左心室容积, 如图 3、4; ③SonoAVC 模式: 选择 generic SonoAVC 模式, 调节取样框至只包绕左心室, 点击鼠标右键, 软件自动计算心室容积。将 “separation” 设置为 “mid”, 若软件未能准确识别左心室边界, 调节 “growth” 重新确定心室容积, 如图 5、图 6。 (5) 重复性及一致性测量: 随机选择 20 例胎儿由观察者 A 一周后采用同样的方法进行重复测量左心室舒张末期及收缩末期容积, 并不参考上次测量结果, 以此计算观察者内部的可靠性。观察者 B 对观察者 1 的测量结果未知的条件下采用同样的测量方法测量 20 名胎儿左心室舒张末期及收缩末期容积, 以此计算观察者间的可靠性。并评价 2 名测量者使用 3 种方法测量左心室每搏输出量的一致性。

3. 统计学方法: 应用 SPSS 13.0 统计软件进行统计学分析, 计量资料以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示。同一测量者 3 种方法测量结果间采用方差分析比较。采用组内相关系数 (ICC) 评价 3 种测量方法及两名测量者测量结果的可靠性。采用 Bland – Altman 图像分析 2 名观察者间使用 3 种测量方法的一致性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

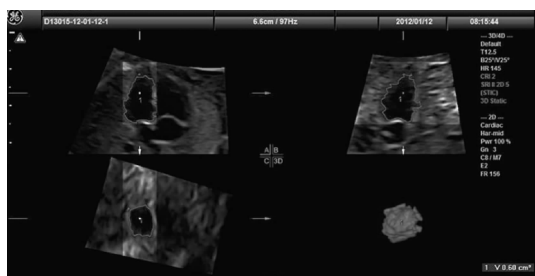
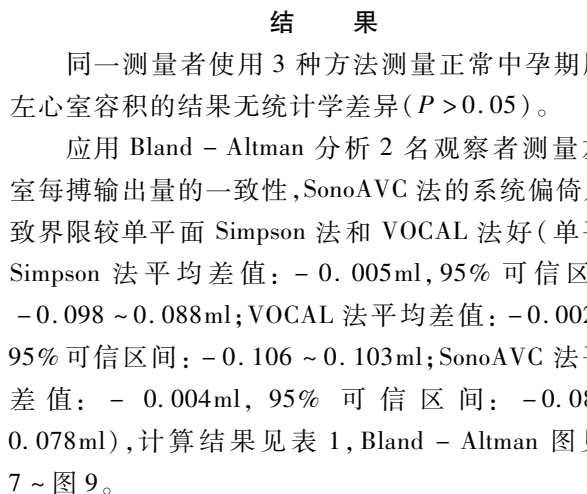
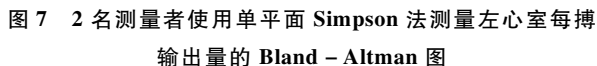


图 6 SonoAVC 法测量胎儿左心室舒张末期容积

[illegible]

同一观察者 3 种方法测量左心室每搏输出量的可靠性比较,其观察者内 ICC 值以 SonoAVC 居高, (0.982, 95% 可信区间:0.954 ~ 0.993, 单平面 Simpson 法 ICC:0.979, 95% 可信区间:0.948 ~ 0.992; VOCAL 法 ICC:0.972, 95% 可信区间:0.920 ~ 0.989), 见表 2。

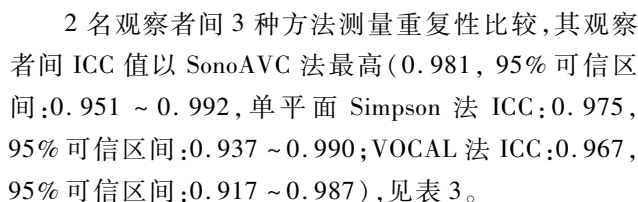


图5 SonoAVC法测量胎儿左心室收缩末期容积

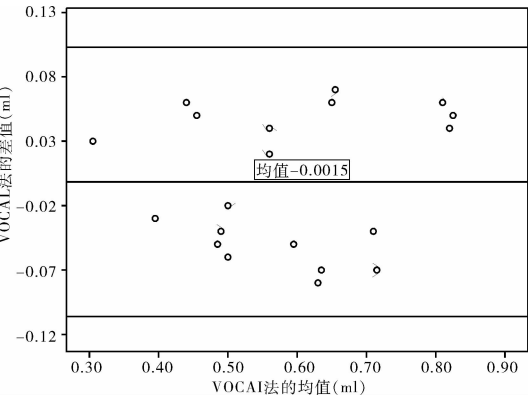


图 8 2 名测量者使用 VOCAL 法测量左心室每搏输出量的 Bland - Altman 图

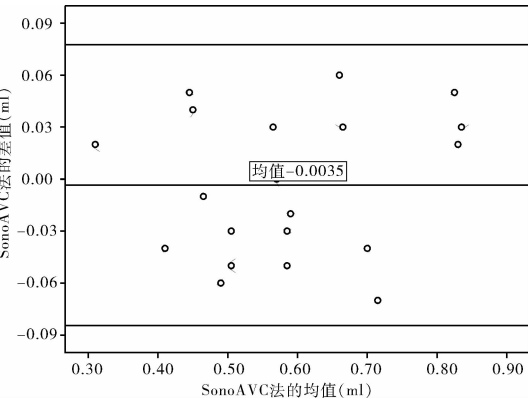


图 9 2 名测量者使用 SonoAVC 法测量左心室每搏输出量的 Bland - Altman 图

表 1 2 名测量者间 3 种方法测量左心室每搏输出量一致性的 Bland - Altman 绘图分析结果

检查方法	平均差值	95% 可信区间
单平面 Simpson 法	-0.005	-0.098 ~ 0.088
VOCAL 法	-0.0015	-0.106 ~ 0.103
SonoAVC	-0.0035	-0.085 ~ 0.078

表 2 同一测量者 3 种方法比较左心室每搏输出量的观察者内 ICC

检查方法	观察者内 ICC	95% 可信区间
单平面 Simpson 法	0.979	0.948 ~ 0.992
VOCAL 法	0.972	0.920 ~ 0.989
SonoAVC 法	0.982	0.954 ~ 0.993

表 3 不同测量者 3 种方法比较左心室每搏输出量的观察间 ICC

检查方法	观察者间 ICC	95% 可信区间
单平面 Simpson 法	0.975	0.937 ~ 0.990
VOCAL 法	0.967	0.917 ~ 0.987
SonoAVC 法	0.981	0.951 ~ 0.992

讨 论

胎儿心血管系统是人类胚胎发育中最早完成功能发育的系统,在胚胎发生过程中的形态结构及血流动力学变化复杂,准确评估胎儿心室容积有助于评估先天性心脏疾病胎儿的心脏结构及功能异常,可促进对其机制的理解。中孕期胎儿心腔足够大,活动较少,能获得较准确的切面,是诊断胎儿先心病的最佳阶段。对孕妇及其家庭来说尽早诊断胎儿心脏异常,尽可能采取合理措施至关重要,因此本研究对象采用中孕期胎儿。

测量工具的可靠性包括评定者内可靠性和评定者间可靠性。统计学中,组内相关系数 (ICC) 常用于评价具有某种确定亲属关系的个体间某定量属性的相似程度,另一方面主要用于评价不同测定方法或评定者对同一定量测量结果的一致性 or 可靠性。Landis 和 Koch 建议 ICC 应 >0.80, 0.61 ~ 0.80 为中等, 0.41 ~ 0.60 为一般, 0.11 ~ 0.40 为较低, <0.1 为无可靠性。本研究的 3 种测量方法的观察内及观察者间 ICC 值均 >0.90,提示 3 种方法测量的可靠性良好。Bland - Altman 图用于评价两名观察者间使用同一种测量方法的一致性,计算出两名观察者使用同种测量方法测量的胎儿左心室每搏输出量差值的均值及差值的 95% 可信区间,以此直观的显示测量方法的一致性。

近几年国内外学者使用 STIC 技术设计不同的实验,使用不同的分析方法来测量胎儿心室容积^[2-4]。目前测量胎儿心室容积较准确的最常用方法——VOCAL 法,被认为是进行四维测量的参照标准^[5]。Hamill 等^[2]分析了 VOCAL 法测量胎儿心室容积的一致性及可靠性;Messing 等^[3]应用反转模式及 VOCAL 模式对 11 例中孕期胎儿心室容积测量的可靠性进行研究;Rizzo 等^[4]使用 VOCAL 模式对 10 例胎儿的心室 SV 测量的可靠性进行研究,两位学者研究结果均显示该法的可靠性高 (ICC 均 ≥0.95)。其优点包括:①在每个平面描记心室边缘时可见整个心室;②在心室容积计算结果显示后可进行必要的修改使得测量结果更准确。但这种方法对图像质量要求高,操作者使用前需进行反复练习方能掌握。本研究中 VOCAL 法测量的 ICC 最小,究其原因可能是旋转过程中对心内膜描记不同,但均 ≥0.95,与以上研究结果相一致。

传统二维条件下测量胎儿心室容积较准确的 Simpson 法,但需对心室形状进行几何假设,且需重复测量及反复计算^[6]。有关学者将此方法与 STIC 技术

联合应用于胎儿心室容积测量,发现其结果较准确,只需手动描记心室内边缘一次,系统自动计算出结果,无需反复计算,耗时少。Schoonderwalt 等^[7]使用单平面 Simpson 法及 VOCAL 法(手动描记,30°旋转模式)分析左心室容积测量的一致性 & 可靠性,得出两种方法测量心室 SV 的一致性 & 可靠性高(观察者内 ICC 均 ≥ 0.95)。孙微等^[8]使用基于 Simpson 法的三维平行多平面法测量正常胎儿心室容积,提示本法是一种准确省时的测量方法。其优点包括:①STIC 技术获取清晰的四腔心切面,有利于手动描记心内边缘,此与 VOCAL 法的手动描记相同;②避免了反转模式中操作者主观调节阈值的误差。本研究结果提示其一致性 & 可靠性在 3 种方法中居中,与 VOCAL 法的结果相差微小,与 Schoonderwalt 等的研究结果一致。

SonoAVC 法是容积自动化测量的三维超声软件,主要应用于妇科领域,能自动评估在某一卵巢内所有卵泡体积大小^[9]。软件会自行按照无回声的区域自动识别边界并给各区域标记上不同的颜色,并分别计算出卵泡的体积。利用这一原理,许多学者将此项技术应用于胎儿低回声结构的检查,包括胎儿心脏。Rizzo 等^[10]分别使用 VOCAL 及 SonoAVC 技术测量正常 & 异常胎儿的心室容积 & SV,得出两种技术测量的左心室 SV 的一致性高,可靠性好。本研究中 SonoAVC 法测量的 ICC 最大,前后 2 次测量的差值最小,提示此法的可靠性好,一致性高,与以上研究结果相似。但 SonoAVC 法的测量时间明显短于 VOCAL 法,提示它可能是评估胎儿心脏结构异常的一个很有价值的方法。对其应用于心室容积测量可进行广泛研究。本研究中 SonoAVC 法测量的 ICC 最大,前后 2 次测量的差值最小,提示此法的可靠性好,一致性高,与以上研究结果相似。

本研究采用以上 3 种较准确的测量方法,分析其测量的一致性 & 可靠性,结果显示同一测量者使用 3 种方法测量的左心室 SV 无统计学意义,提示 3 种方法均可用于胎儿左心室容积测量。3 种测量方法的 Bland-Altman 图结果相差甚微,ICC 值相近,提示 3 种测量方法的一致性均好,可靠性高,与以往使用不同测量方法左心室容积的四维研究结果($ICC \geq 0.75$)相同,因此 3 种方法是可以相互替代,在实际工作中选用一种方法即可^[2-4,10-12]。

STIC 技术在心脏功能测量方面有独特的优势,它能更清楚地显示每个时相的容积数据,实时显示心脏运动过程,且对操作者的经验要求低,可较准确地

测量胎儿心室容积^[13]。但 STIC 技术也存在缺陷,对图像质量的要求较高,要求胎儿在安静时采集图像,且体位最好为枕后位,母体肥胖、羊水过少 & 后处理过程中对图像进行最优化的准确性均影响采集图像的质量,进而影响测量结果的准确性。

参考文献

- 1 刘涛,吴瑛.实时三维超声:胎儿心脏成像的新视窗[J].中国医学影像技术,2007,23:118-120
- 2 Hamill N, Romero R, Hassan SS, *et al.* Repeatability and reproducibility of fetal cardiac ventricular volume calculations using spatiotemporal image correlation and virtual organ computer-aided analysis[J]. J Ultrasound Med, 2009, 28(10):1301-1311
- 3 Messing B, Cohen SM, Valsky DV, *et al.* Fetal cardiac ventricle volumetry in the second half of gestation assessed by 4D ultrasound using STIC combined with inversion mode[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2007, 30(2):142-151
- 4 Rizzo G, Capponi A, Cavicchioni O, *et al.* Fetal cardiac stroke volume determination by four-dimensional ultrasound with spatio-temporal image correlation compared with two-dimensional and Doppler ultrasonography[J]. Prenat Diagn, 2007, 27(12):1147-1150
- 5 Kusanovic JP, Nien JK, Goncalves LF, *et al.* The use of inversion mode and 3D manual segmentation in volume measurement of fetal fluid-filled structures: comparison with virtual organ computer-aided analysis (VOCAL) [J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2008, 31(2):177-186
- 6 Molina FS, Faro C, Sotiriadis A, *et al.* Heart stroke volume and cardiac output by four-dimensional ultrasound in normal fetuses[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2008, 32(2):181-187
- 7 Schoonderwaldt EM, Groenenberg IA, Hop WC, *et al.* Reproducibility of echocardiographic measurements of human fetal left ventricular volumes and ejection fractions using four-dimensional ultrasound with the spatio-temporal image correlation modality[J]. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol, 2012, 160:22-29
- 8 孙微,张颖,蔡爱露,等.时间-空间关联成像技术评价正常胎儿心功能[J].中国医学影像技术,2011,27(1):202-203
- 9 Deutch TD, Joergner I, Matson DO. Automated assessment of ovarian follicles using a novel three-dimensional ultrasound software[J]. Fertil Steril, 2009, 92(5):1562-1568
- 10 Rizzo G, Capponi A, Pietrolucci ME, *et al.* Role of sonographic automatic volume calculation in measuring fetal cardiac ventricular volumes using 4-dimensional sonography: comparison with virtual organ computer-aided analysis[J]. J Ultrasound Med, 2010, 29(2):261-270
- 11 Schmidt KG, Silverman NH, Van Hare GF, *et al.* Two-dimensional echocardiographic determination of ventricular volumes in the fetal heart. Validation studies in fetal lambs [J]. Circulation, 1990, 81(1):325-333
- 12 Uittenbogaard LB, Haak MC, Tromp CH, *et al.* Reliability of fetal cardiac volumetry using spatiotemporal image correlation: assessment of in-vivo and in-vitro measurements[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2010, 36(3):308-314
- 13 张颖,蔡爱理,赵一理,等.实时三维超声诊断胎儿矫正型大动脉转位[J].中国医学影像技术,2010,26(4):724-726

(收稿日期:2012-06-01)

(修回日期:2012-06-25)