

[文章编号] 1674-8115(2011)09-1235-05

·述评·

# 胎儿超声心动图的临床应用及进展

张玉奇

(上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心心内科, 上海 200127)

[摘要] 心血管畸形是新生儿最常见的出生缺陷, 是婴幼儿死亡的主要原因之一。越来越多的孕妇进行产前检查, 胎儿超声心动图(FE)检查的需要逐渐增加。FE 可以无创诊断胎儿结构性心脏病, 并对宫内心律失常及心功能不全进行评估。文章对 FE 的检查指征、检查时间、检查切面选择、检查方法、临床应用以及进展进行讨论, 并指出 FE 的局限性和未来的发展方向。

[关键词] 胎儿超声心动图; 心功能; 心律失常; 心血管畸形

[DOI] 10.3969/j.issn.1674-8115.2011.09.005

[中图分类号] R445.1

[文献标志码] A

## Advances and clinical application of fetal echocardiography

ZHANG Yu-qi

(Department of Pediatric Cardiology, Shanghai Children's Medical Center, Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 200127, China)

[Abstract] Cardiac anomaly is the most common developmental malformation and one of the leading causes of neonatal mortality and morbidity. As more women undergo prenatal diagnosis, the need for fetal echocardiography increases. Fetal echocardiography is a non-invasive method in detection of structural heart disease, cardiac arrhythmia and heart dysfunction. This paper not only discusses the indication, examination time, ultrasonic scanning plane, scanning technique, important advances and clinical application of fetal echocardiography, but also points out the limitation and prospects of research in this fields.

[Key words] fetal echocardiography; heart function; arrhythmia; cardiac malformation

心血管畸形是新生儿最常见的出生缺陷, 是婴幼儿死亡的主要原因之一。准确的产前诊断有利于临床决策, 进行相应的产前干预或终止妊娠, 对降低出生缺陷及婴幼儿病死率具有重要意义<sup>[1,2]</sup>。胎儿超声心动图(fetal echocardiography, FE)自 20 世纪 80 年代初逐步应用于心血管疾病的产前诊断, 近年来, 随着超声技术的发展及筛查方法的改进, FE 在结构性心脏病的筛查及诊断、心律失常及心功能不全的评估中均起到十分重要的作用<sup>[3]</sup>。文章对 FE 的临床应用及新进展进行讨论。

### 1 FE 的检查指征和时机

#### 1.1 检查指征

先天性心脏病(congenital heart disease, CHD)的病因迄今尚未完全明确, 但如有以下情况则 CHD 发生的机会增多, 称为 CHD 的高危因素<sup>[4]</sup>:①CHD 家族史; ②孕妇患糖尿病、红斑狼疮、苯丙酮尿症等;

③孕妇妊娠早期接触致畸因素(如乙醇、锂以及感染风疹、巨细胞包涵体、柯萨基病毒等); ④胎儿发育迟缓; ⑤胎儿心律失常(如持续心动过速、心动过缓等); ⑥胎儿心外畸形(如脐膨出、膈疝、肾发育不全、脑积水、染色体异常等); ⑦胎儿非免疫性水肿; ⑧羊水过多或过少; ⑨孕妇有流产、宫内死胎等不正常妊娠史; ⑩35 岁以上高龄孕妇。

实际上大约 50% 以上的 CHD 新生儿并无明确的高危因素, CHD 的检出率在高危因素组与低危因素组间并无差别。因此, 应对所有孕妇进行常规 FE 检查。若条件有限, 对有以上高危因素者都应进行详尽的 FE 检查<sup>[5,6]</sup>。

#### 1.2 检查时间

胎儿心脏在胚胎第 2 周开始形成, 孕 8 周基本发育完成。早于 16 周因胎儿心血管结构发育尚小, 超声分辨率限制, 只能显示房室瓣及两侧心室腔, 应用价值有限。孕 16 周至足月出生前均可行 FE 检查,

孕 18~22 周为最合适的检查时间。经阴道超声高频探头的应用,可在孕 11~14 周进行心血管畸形的孕早期筛查,但探头移动受限,仅能获得有限的切面,并未广泛应用<sup>[7]</sup>。妊娠晚期由于胎儿位置比较固定,脊柱及肋骨影等影响图像质量。

### 1.3 检查方法

孕早期胎儿发育较小,心腔结构显示困难,主要通过间接方法对高危妊娠者进行筛查。Chelemen 等<sup>[8]</sup>的研究表明:颈后透明层(nuchal translucency, NT)厚度大于正常胎儿测值的 95 位百分数及静脉导管(ductus venosus, DV)血流出现逆向 A 峰与 CHD 的发生有关,两者联合应用 CHD 的检出率可达 83.8%。

国际妇产科协会规定孕中期常规筛查的心脏切面为心尖四腔切面、流出道切面和三血管切面。通过四腔切面产前诊断 CHD 的敏感性及特异性分别为 81% 和 100%,可以筛查约 2/3 的心血管畸形;而通过流出道和三血管切面可以补充显示心室大动脉连接关系,有助于诊断圆锥动脉干等畸形;3 个切面联合应用,CHD 检出率达 85% 以上<sup>[9]</sup>。

进一步明确诊断需要完整的超声心动图检查,检查顺序如下:①首先确定胎儿在宫内的胎位,明确胎儿的前后、左右、上下关系;②确定心房是正位、反位还是不定位;③显示四腔心切面、左右心室流出道切面、三血管切面以及主动脉弓和导管弓的长轴切面、腔静脉长轴切面、乳头肌水平双心室短轴切面。在上述各切面获得的信息基础上,采用顺序分段诊断法<sup>[10]</sup>判断心房和心室位置,分析心房、心室及大动脉的连接关系,并观察房、室间隔有无缺损,腔、肺静脉回流有无异常,有无心律失常及心功能不全,最终建立详尽的超声诊断。

## 2 FE 检查的临床应用

FE 可对胎儿的 CHD、心脏肿瘤和原发性心肌病等进行诊断,对胎儿心律失常及心功能进行评估,对心血管畸形的宫内介入治疗进行监测。

### 2.1 结构性心脏病的诊断

随着高分辨率超声仪器的应用,有经验的心内科医师可对大部分明显的心血管异常明确诊断,包括室间隔缺损、房间隔缺损、法洛四联症、完全性大动脉转位、右室双出口、左心发育不良综合征、完全性肺静脉异位引流、主动脉瓣狭窄和肺动脉瓣狭窄等。

大型室间隔缺损易被发现,多合并复杂心脏畸

形。室间隔膜部在孕早期容易发现超声回声失落而误认为缺损,彩色血流显像可提高诊断的准确性;而小型室间隔缺损在出生前可能闭合。房间隔缺损与卵圆孔未闭难以区别,在 FE 检查中易被忽略。房室间隔缺损在四腔切面中可见房室交界区缺失的特征,常合并主动脉缩窄、21 三体综合征以及骨骼发育异常等<sup>[11]</sup>。

圆锥动脉干畸形四腔切面容易漏诊,结合流出道切面及三血管切面大多可明确诊断。Galindo 等<sup>[9]</sup>产前诊断 144 例圆锥动脉干畸形,与产后超声诊断结果对比发现,143 例诊断正确,占 99%;143 例畸形中,首次超声诊断 126 例,正确率 87.5%;其中法洛四联症、完全性大动脉转位和右室双出口正确率较高,而肺动脉闭锁、三尖瓣闭锁等的准确性较差。分析认为:造成误差的主要原因是肺动脉分支及远端主动脉弓降部显示困难。

Towner 等<sup>[12]</sup>对心腔内强回声光点进行研究,发现 71 例胎儿心腔内为多发性强回声光点,6 例合并 21 三体综合征;171 例胎儿为单发性强回声光点,仅 1 例合并 21 三体综合征;对照组 242 例无强回声光点胎儿中仅 1 例为 21 三体综合征;提示心腔内多发性强回声光点胎儿易合并 21 三体综合征,产前应行染色体检查。所有强回声光点出生后大多自然消失。

许川一等<sup>[13]</sup>对 12 165 例孕妇行 FE 检查,检出 452 例胎儿心血管异常,其中单纯性三尖瓣反流 341 例,结构性心血管异常 54 例,左室假腱索 30 例,心腔内强回声光点 17 例,肺动脉瓣反流 10 例。54 例结构性心血管异常中超声诊断正确 49 例,占 90.3%;误诊 5 例,占 9.7%。因此,认为 FE 是胎儿结构性心脏病产前检查的有效方法。

### 2.2 胎儿心律失常的诊断

由于从母体腹部体表引出的胎儿心电信号较弱,特别是胎儿心电图 P 波不易记录到,而且 QRS 波群的检出率也较低,因此胎儿心电图应用受到限制。电脑辅助的信号平均心电图可消除干扰信号,但临床应用较少,尚需进一步研究<sup>[14]</sup>。FE 是目前诊断胎儿心律失常最有价值的方法<sup>[15]</sup>。

FE 检查中,结合二维超声、M 型超声及多普勒超声可以同时了解心房收缩、心室收缩及两者的相互关系<sup>[16]</sup>。二尖瓣水平左室短轴 M 型超声图中,依据二尖瓣前、后瓣叶运动曲线及左室后壁运动分别确定心房及心室收缩频率。主动脉根部短轴 M 型超声图中可依据主动脉瓣叶运动曲线及左房壁运动分

别确定心室及心房收缩频率。四腔切面中通过心房及心室的 M 型超声图中可见到心房壁及心室壁的运动,可以确定它们的频率。

胎儿心率 >160 次/min、<100 次/min 或胎心律不规则均应检查。胎儿心律失常以单纯性房性早搏最常见,占 80%,通常在出生前或出生后短期内消失而不需要治疗,极少数可发展成室上性心动过速,需随访<sup>[17]</sup>。室上性心动过速可导致胎儿心力衰竭、水肿,房扑也可导致胎儿水肿;给予孕妇地高辛,可使胎儿心律转复。心动过缓可占胎儿心律失常的 10%。持续心动过缓中,完全性房室传导阻滞约占 15%,心率≤60 次/min。1/2~2/3 的完全性房室传导阻滞者伴心脏畸形,如多脾、无脾综合征等,大多数死亡。有的胎儿完全性房室传导阻滞与孕妇结缔组织疾病有关,而窦性心动过缓与胎儿窘迫有关。

### 2.3 胎儿心功能的检测

射血分数及缩短分数是估测收缩功能的常用指标,但由于胎儿体位多变,应用 M 型及二维超声测量心腔指标的重复性较差。应用彩色及频谱多普勒超声技术,通过对室壁运动及瓣口血流的检测可评价胎儿的舒张功能,但影响因素较多,应用受限。

心肌做功指数 (myocardial performance index, MPI) 是等容时间与射血时间的比值,广泛用于成人及小儿的整体心功能评估。Hernandez-Andrade 等<sup>[18]</sup>研究认为:胎儿左、右心室 MPI 间无明显差异,MPI 与胎心率无关,但受孕周的影响,正常值为  $MPI = 0.33 + 0.001 \times \text{孕周}$ 。Letti Müller 等<sup>[19]</sup>对 15 例胎膜早破孕妇的胎儿进行研究,发现胎膜早破的胎儿 MPI 明显增高,提示胎膜早破导致胎儿炎症反应综合征,出现心功能下降。Chen 等<sup>[20]</sup>的研究则发现 Ebstein 畸形的胎儿左心室 MPI 明显增高,提示左心室整体功能下降。

Comas 等<sup>[21]</sup>应用组织多普勒成像 (tissue doppler imaging, TDI) 技术对 50 例正常胎儿及 25 例宫内生长受限的胎儿进行对比研究,结果发现二尖瓣环及三尖瓣环处心肌运动速度下降,E'/A' 下降,提示宫内生长受限胎儿左心收缩及舒张功能不全。由于 TDI 技术受声束与室壁运动方向夹角的影响,仅能对室壁纵向功能进行评估,有一定的局限性。

### 2.4 胎儿心肌病的诊断

原发性心肌病约占胎儿心血管疾病的 8%~11%,且多预后不良<sup>[22]</sup>。心肌病中扩张型心肌病及肥厚型心肌病多见,心功能异常的出现常常早于结

构的异常。因此,胎儿心肌病除探察心腔大小、室壁回声及厚度等结构的改变外,应特别注意心功能的检测,尤其是舒张功能,以利于早期、正确的诊断。

### 2.5 胎儿心脏肿瘤的诊断

胎儿心脏肿瘤罕见,发病率约 0.027%。Yinon 等<sup>[23]</sup>总结了 40 例心脏肿瘤的 FE 资料,认为胎儿心脏肿瘤以左心室多发,最常见的横纹肌瘤有 33 例 (82.5%),另 7 例分别为畸胎瘤 3 例、纤维瘤 3 例和血管内皮瘤 1 例;30% 胎儿合并心室流入道或流出道梗阻,18% 合并胎儿水肿,13% 合并心律失常;3 例终止妊娠,4 例出生时死亡,7 例失访,26 例存活;88% 横纹肌瘤胎儿合并结节性硬化症,大多数出生后有自发衰退现象,长期预后取决于结节性硬化症的神经系统表现。FE 在心脏肿瘤的诊断及随访观察中起重要作用。

### 2.6 胎儿心脏病治疗方面的应用

近年来,有学者尝试对胎儿心血管疾病进行宫内介入及外科手术治疗,FE 在产前诊断、术中监测、术后即刻效果判断及随访中均起重要作用<sup>[24,25]</sup>。Selamet Tierney 等<sup>[24]</sup>在 FE 监测下进行主动脉瓣球囊扩张成形术,结果表明:超声在主动脉瓣狭窄的诊断、穿刺点的选择、穿刺针及导管位置的判断、球囊扩张术后即刻效果的判断、术后左心室形态及功能变化的评估等方面起重要作用,表明 FE 是胎儿心血管畸形宫腔内干预的良好检测工具。

## 3 FE 的新进展

### 3.1 三维超声技术的应用

实时三维超声心动图克服了对心脏或呼吸门控的要求,减少了三维重构的伪差,缩短了重构的时间,使之对胎儿心血管异常的诊断成为可能。Hata 等<sup>[26]</sup>的研究表明:实时三维超声可观察胎儿心脏的形态、活动、腔室大小、房室与大血管的连接,可在孕早期发现心脏畸形。Herberg 等<sup>[27]</sup>的研究证明了三维超声估测胎儿心腔容量及收缩功能的可行性。

实时三维超声的“瓜瓣样”视角比较局限,再加上频繁的胎动等,临床应用受限。四维时空关联显像 (spatio-temporal imaging correlation, STIC) 技术探头通过运动门控方式进行容积取样,可在短时间内采集大量的二维切面,然后在时间 - 空间域进行分析及处理,形成实时在线的动态三维系列,也可以脱机分析、三维重建和容积测量,是目前研究的热点。Bennasar 等<sup>[28]</sup>对 363 例怀疑患有 CHD 的胎儿进行

二维超声及 STIC 检查,结果发现 175 例胎儿合并 CHD;STIC 技术获得的容积数据显示了一系列相互垂直的平面图像,对其中的每一幅图像都可通过旋转、平移进行控制、分析,切割或三维重建,获得了比二维超声检查更多的信息;STIC 诊断 CHD 的准确度、敏感度和特异度分别为 91.6%、94.9% 和 88.1%,与出生后超声或终止妊娠尸解结果对比,诊断正确率为 74.3%。Uittenbogaard 等<sup>[29]</sup>研究证明了 STIC 技术估测心腔容量的准确性,认为孕 12~30 周胎儿左心室射血分数正常值为 0.45。

Yagel 等<sup>[30]</sup>应用实时三维超声、STIC、B-flow 以及断层成像技术对 13 101 例胎儿进行研究,共检出 181 例 CHD,三维超声在 12 例(6.6%)患者中提供了进一步的信息。由于 STIC 技术获取图像时受检查声窗的影响,包括胎儿体位、羊水多少等因素,Tonni 等<sup>[31]</sup>建议三维超声仅在二维超声怀疑胎儿患有 CHD 时进行检查。

### 3.2 速度向量显像(velocity vector imaging, VVI)技术的应用

VVI 克服了传统组织多普勒技术的缺点,不受声束与室壁运动方向夹角的影响,有可能更加准确地反映不同节段心肌的形变程度,显示心脏收缩与扭转运动等重要信息<sup>[32]</sup>。Pu 等<sup>[33]</sup>应用 VVI 技术对 170 例胎儿进行研究发现:心肌运动速度从基底部向心尖逐渐降低,呈明显的梯度特点;孕中晚期收缩期峰值速度随孕龄增长,而应变率不随孕周变化,可用来反映胎儿心肌收缩功能。Di Naro 等<sup>[34]</sup>的研究表明:羊膜腔感染的胎儿收缩期峰值应变率明显下降,收缩功能不全。Van Mieghem 等<sup>[35]</sup>对 17 例双胎输血综合征胎儿进行研究发现,收缩期峰值应变率明显降低,提示 VVI 技术可以反映胎儿的右心室收缩功能;但仅 61% 胎儿获得满意的图像,认为 VVI 技术在胎儿心功能的估测中尚需进一步研究。

## 4 FE 的局限性和应用前景

由于胎儿心血管结构发育较小,受超声仪器分辨率的限制,FE 提供的信息量有限,容易漏诊,因此 FE 检查应尽量详细,必要时复查。胎儿在母体内处于生长发育的过程,疾病动态演变明显,如较小的室间隔缺损可自然闭合、孕早期肺动脉狭窄在孕晚期可演变为肺动脉闭锁等,FE 应动态监测其变化。FE 对肺动脉分支及主动脉弓降部远端显示欠佳,容易漏误诊<sup>[36]</sup>。Manganaro 等<sup>[37]</sup>认为:FE 对结构性心血

管疾病诊断不清时可对胎儿行磁共振检查,特别是羊水过少、孕妇肥胖时。相信随着超声技术的发展,作为一种安全、无创的检测方法,FE 在产前诊断及胎儿外科等领域将有更广阔的应用前景。

## 〔参考文献〕

- [1] Marek J, Tomek V, Skovřínek J, et al. Prenatal ultrasound screening of congenital heart disease in an unselected national population: a 21-year experience[J]. Heart, 2011, 97(2): 124~130.
- [2] Chung ML, Lee BS, Kim EA, et al. Impact of fetal echocardiography on trends in disease patterns and outcomes of congenital heart disease in a neonatal intensive care unit[J]. Neonatology, 2010, 98(1): 41~46.
- [3] Lee W, Drose J, Wax J, et al. AIUM practice guideline for the performance of fetal echocardiography [J]. J Ultrasound Med, 2011, 30(1): 127~136.
- [4] Jone PN, Schowengerdt KO Jr. Prenatal diagnosis of congenital heart disease[J]. Pediatr Clin North Am, 2009, 56(3): 709~715.
- [5] Sharony R, Feigin MD, Biron-Shental T, et al. Who should be offered fetal echocardiography? One center's experience with 3965 cases[J]. Isr Med Assoc J, 2009, 11(9): 542~545.
- [6] Simpson JM. Impact of fetal echocardiography [J]. Ann Pediatr Cardiol, 2009, 2(1): 41~50.
- [7] Peled Y, Yogev Y, Kahn A, et al. Transvaginal sonographic fetal axis determination in early second trimester [J]. Arch Gynecol Obstet, 2008, 278(3): 237~239.
- [8] Chelemen T, Syngelaki A, Maiz N, et al. Contribution of ductus venosus Doppler in first-trimester screening for major cardiac defects [J]. Fetal Diagn Ther, 2011, 29(2): 127~134.
- [9] Galindo A, Mendoza A, Arribes J, et al. Gonotruncal anomalies in fetal life: accuracy of diagnosis, associated defects and outcome [J]. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol, 2009, 146(1): 55~60.
- [10] Gottliebson WM, Border WL, Franklin CM, et al. Accuracy of fetal echocardiography: a cardiac segment-specific analysis [J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2006, 28(1): 15~21.
- [11] Paladini D, Volpe P, Sgavio G, et al. Partial atrioventricular septal defect in the fetus: diagnostic features and associations in a multi-center series of 30 cases[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2009, 34(3): 268~273.
- [12] Towner D, Gerscovich EO, Chiong BB, et al. Comparison of single versus multiple echogenic foci in the fetal heart regarding risk of aneuploidy[J]. J Ultrasound Med, 2010, 29(7): 1061~1067.
- [13] 许川一,张玉奇. 胎儿超声心动图在胎儿先天性心血管异常中的诊断价值[J]. 医学影像学杂志, 2008, 1(8): 882~884.
- [14] Gardiner HM, Belmar C, Pasquini L, et al. Fetal ECG: a novel predictor of atrioventricular block in anti-Ro positive pregnancies [J]. Heart, 2007, 93(11): 1454~1460.
- [15] Srinivasan S, Strasburger J. Overview of fetal arrhythmias[J]. Curr Opin Pediatr, 2008, 20(5): 522~531.

- [16] Matta MJ, Cuneo BF. Doppler echocardiography for managing fetal cardiac arrhythmia[J]. Clin Obstet Gynecol, 2010, 53(4): 899–914.
- [17] Ludwig AK, Chase K, Axt-Fiedner R, et al. Follow-up of children with prenatal diagnosis of supraventricular extrasystole[J]. Ultraschall Med, 2009, 30(6): 564–570.
- [18] Hernandez-Andrade E, Figueira-Diesel H, Kottman C, et al. Gestational-age-adjusted reference values for the modified myocardial performance index for evaluation of fetal left cardiac function[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2007, 29(3): 321–325.
- [19] Letti Müller AL, Barrios Pde M, Kliemann LM, et al. Tei index to assess fetal cardiac performance in fetuses at risk for fetal inflammatory response syndrome[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2010, 36(1): 26–31.
- [20] Chen Y, Lv G, Li B, et al. Cerebral vascular resistance and left ventricular myocardial performance in fetuses with Ebstein's anomaly [J]. Am J Perinatol, 2009, 26(4): 253–258.
- [21] Comas M, Crispí F, Cruz-Martínez R, et al. Usefulness of myocardial tissue Doppler vs conventional echocardiography in the evaluation of cardiac dysfunction in early-onset intrauterine growth restriction[J]. Am J Obstet Gynecol, 2010, 203(1): 45.e1–e7.
- [22] Mongiovì M, Fesslova V, Fazio G, et al. Diagnosis and prognosis of fetal cardiomyopathies: a review[J]. Curr Pharm Des, 2010, 16(26): 2929–2934.
- [23] Yinson Y, Chitayat D, Blaser S, et al. Fetal cardiac tumors: a single-center experience of 40 cases[J]. Prenat Diagn, 2010, 30(10): 941–949.
- [24] Selamet Tierney ES, Wald RM, McElhinney DB, et al. Changes in left heart hemodynamics after technically successful in-utero aortic valvuloplasty[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2007, 30(5): 715–720.
- [25] Kohl T, Breuer J, Heep A, et al. Fetal transesophageal echocardiography during balloon valvuloplasty for severe aortic valve stenosis at 28<sup>+6</sup> weeks of gestation[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2007, 134(1): 256–257.
- [26] Hata T, Dai SY, Inubashiri E, et al. Real-time three-dimensional color Doppler fetal echocardiographic features of congenital heart disease[J]. J Obstet Gynaecol Res, 2008, 34(4 Pt 2): 670–673.
- [27] Herberg U, Lück S, Steinweg B, et al. Volumetry of fetal hearts using 3D real-time matrix echocardiography—*in vitro* validation experiments and 3D echocardiographic studies in fetuses[J]. Ultraschall Med, 2011, 32(1): 46–53.
- [28] Bennasar M, Martínez JM, Gómez O, et al. Accuracy of four-dimensional spatiotemporal image correlation echocardiography in the prenatal diagnosis of congenital heart defects[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2010, 36(4): 458–464.
- [29] Uttenbogaard LB, Haak MG, Spreeuwenberg MD, et al. Fetal cardiac function assessed with four-dimensional ultrasound imaging using spatiotemporal image correlation[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2009, 33(3): 272–281.
- [30] Yagel S, Cohen SM, Rosenak D, et al. Added value of three-/four-dimensional ultrasound in offline analysis and diagnosis of congenital heart disease[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2011, 37(4): 432–437.
- [31] Tonni G, Centini G, Taddei F. Can 3D ultrasound and doppler angiography of great arteries be included in second trimester echocardiographic examination? A prospective study on low-risk pregnancy population[J]. Echocardiography, 2009, 26(7): 815–822.
- [32] Xiong L, Bernard LS, Hashima JN, et al. Regional myocardial function and response to acute afterload increase in chronically anemic fetal sheep: evaluation by two-dimensional strain echocardiography[J]. Ultrasound Med Biol, 2010, 36(12): 2042–2047.
- [33] Pu DR, Zhou QC, Zhang M, et al. Assessment of regional right ventricular longitudinal functions in fetus using velocity vector imaging technology[J]. Prenat Diagn, 2010, 30(11): 1057–1063.
- [34] Di Naro E, Gromi A, Ghezzi F, et al. Myocardial dysfunction in fetuses exposed to intraamniotic infection: new insights from tissue Doppler and strain imaging[J]. Am J Obstet Gynecol, 2010, 203(5): 459.e1–7.
- [35] Van Mieghem T, Giusca S, DeKominck P, et al. Prospective assessment of fetal cardiac function with speckle tracking in healthy fetuses and recipient fetuses of twin-to-twin transfusion syndrome[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2010, 23(3): 301–308.
- [36] Allan LD. Diagnosis of cardiac anomalies in offspring of women with congenital heart disease: is fetal echocardiography enough? [J] Nat Clin Pract Cardiovasc Med, 2008, 5(9): 522–523.
- [37] Manganaro L, Savelli S, Di Maurizio M, et al. Assessment of congenital heart disease (CHD): is there a role for fetal magnetic resonance imaging (MRI)? [J] Eur J Radiol, 2009, 72(1): 172–180.

[收稿日期] 2011-04-16

[本文编辑] 周珠凤