

磁共振增强血管成像对主动脉缩窄术后再狭窄评估

姚琼, 沈全力, 乔中伟, 帕米尔, 钱镔, 黄国英, 胡喜红

【摘要】 目的:使用 MRI 增强血管成像序列(MRA)对主动脉缩窄(CoA)术后再狭窄患者进行检查,评估主动脉弓形变和血流动力改变的关系。**方法:**39 例 CoA 术后再狭窄患儿经超声心动图测量主动脉弓跨狭窄处流速(FR)和压差(PG)明确诊断。所有患儿行 MRA 检查,测量升主动脉、主动脉弓、再狭窄及狭窄后扩张段及降主动脉横膈水平直径,计算升主动脉/降主动脉(A/d)、主动脉弓/降主动脉(Ar/d)、再狭窄/降主动脉(R/d)、狭窄后扩张段/降主动脉(D/d)比值。**结果:**根据 R/d 将患儿分为轻、中、重度狭窄 3 组,三组患儿 A/d、Ar/d、D/d、FR 及 PG 值均无统计学差异。R/d 与 FR、PG 存在中等程度负相关(FR: $r=-0.34, P=0.04$; PG: $r=-0.40, P=0.01$)。38.46% 患儿存在主动脉弓成角畸形,该组患儿 D/d 明显增高($t=-2.90, P=0.01$), Ar/d 减低($t=2.90, P=0.01$)。35.90% 合并主动脉弓发育不良,这组患者 FR 及 PG 值偏高(FR: $t=-2.03, P=0.05$; PG: $t=-1.97, P=0.05$)。**结论:**CoA 术后再狭窄程度与局部血流动力改变相关,部分患者合并主动脉成角、主动脉发育不良,导致血流动力异常更为明显,需要更紧密的关注。

【关键词】 主动脉缩窄;磁共振成像;心脏病

【中图分类号】 R543.1; R445.2; R541 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2018)06-0612-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.06.014 开放科学(资料服务)标识码(OSID)



Evaluation of restenosis after aortic coarctation repair using contrast enhanced-magnetic resonance-angiography YAO Qiong, CHEN Quan-li, JIAO Zhong-wei, et al. Children's Hospital of Fudan University, Shanghai 201102, China

【Abstract】 Objective: Patients with restenosis after coarctation of aorta (CoA) repair underwent contrast enhanced-magnetic resonance-angiography (CE-MRA), in order to evaluate the relationship between shape deformation and flow alteration. **Methods:** Post-operation CoA patients with restenosis were diagnosed by echocardiography, the flow rate (FR) and pressure gradient (PG) were measured. The aortic shape was characterized by MRA. The diameters of ascending aorta, aortic arch, the repair site and the dilated part distal to the surgical site were measured and the ratio to the descending aortic diameter at the diaphragm level were calculated, presented as A/d, Ar/d, R/d and D/d. **Results:** Patients were divided into three groups according to R/d: slight, moderate and severe stenosis. No significant difference was found in A/d, Ar/d, D/d, FR and PG among three groups. R/d had moderate negative correlation with FR and PG (FR: $r=-0.34, P=0.04$; PG: $r=-0.40, P=0.01$). Angulated aortic arch was found in 38.46% who had higher D/d and lower Ar/d (D/d: $t=-2.90, P=0.01$; Ar/d: $t=2.90, P=0.01$). The ratio of patients with aortic arch hypoplasia was 35.90%, and patients had higher FR and PG (FR: $t=-2.03, P=0.05$; PG: $t=-1.97, P=0.05$) in this group. **Conclusion:** Restenosis at the CoA repair site is associated with the flow changes. The clinical surveillance is necessitated for long term, especially for those with angulated and hypoplastic aortic arch.

【Key words】 Aortic coarctation; Magnetic resonance imaging; Heart diseases

主动脉缩窄(coarctation of aorta, CoA)约占先天

性心脏病的 10%, 治疗方式主要包括开胸手术治疗及经皮球囊扩张成形术^[1]。随着治疗技术不断革新, 手术成功率得到很大提高, 但部分患者术后会出现不同程度的主动脉弓形变, 包括术后再狭窄、动脉瘤形成、

作者单位: 201102 上海, 复旦大学附属儿科医院

作者简介: 姚琼(1982-), 女, 上海人, 博士, 主治医师, 主要从事心血管影像诊断工作。

主动脉高弓等,其中以再狭窄发生率最高^[2-4]。CoA 术后再狭窄会导致高血压及左室肥厚发生,有二次手术指征。

MRI 应用于先天性心脏病诊断已经有多年历史,常规心血管 MRI 检查主要包括电影序列、相位对比序列及增强血管成像序列(magnetic resonance angiography, MRA)。对于胸部大血管畸形 MRA 有较好的应用价值,安全无辐射,可获得高质量的薄层血管图像,结合工作站进行三维后处理,准确性不亚于 CT 及数字血管造影,目前已被证明是评价大血管病变的高度有效的方法,广泛应用于心血管病变的术前诊断及术后随访^[5,6]。

目前描述 CoA 术后再狭窄患者主动脉形态改变及探讨其临床意义的研究较少,本研究搜集 CoA 术后再狭窄的患者行 MRA 检查,分析病变区域主动脉形态特点,探讨其临床意义。

材料与方法

1. 病例材料

2014 年 1 月—2016 年 1 月共 39 例患儿诊断为 CoA 术后再狭窄,超声心动图检查显示平均吻合口流速(flow rate, FR)(3.40±0.63)m/s,压差(pressure gradient, PG)(47.41±17.79)Hg。本组患儿男 25 例,女 14 例,10 例行端端吻合术治疗,10 例行补片扩大术,19 例为球囊扩张术。平均手术年龄(26.18±42.40)月,平均检查年龄为(61.29±59.40)月,平均随访时间(35.10±34.47)月。

2. MRA 扫描技术

使用 Siemens 1.5T 超导 MRI 扫描仪(Magnetom Avanto, Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany),16 通道心脏专用阵列线圈,自由呼吸下扫描。使用快速小角度激发成像序列(fast low angle shot imaging, FLASH)行冠状面增强扫描,按 0.5 mL/s 的流率注射钆喷酸葡胺注射液(欧乃影, GE Healthcare, Princeton, NJ),注射剂量为 0.1 mmol/kg,注射后扫描延迟时间 6~10 s,扫描时间为 20 s,依次获得肺动脉、肺静脉、主动脉多期冠状面三维薄层图像。FLASH 序列扫描参数:重复时间 45 ms,回波时间 3 ms,翻转角 15°,扫描层厚 6 mm,层间距 1.2 mm,矩阵 192×224,激发次数 1。

3. 图像后处理

所有原始横断面图像均导入 AW 4.5 后处理工作站行三维重建,全面评估主动脉术后形态改变,包括术后再狭窄、狭窄后扩张、主动脉弓成角及发育不良等。在主动脉矢状面分别测量升主动脉、主动脉弓、再狭窄处、狭窄后扩张段及降主动脉横膈水平直径,并计算升

主动脉/降主动脉(ascending/descending, A/d)、主动脉弓/降主动脉(arch/descending, Ar/d)、再狭窄/降主动脉(restenosis/descending, R/d)、狭窄后扩张段/降主动脉(dilated/descending, D/d)比值(图 1a)。

4. 统计学处理

应用 SPSS 19.0 (SPSS Inc., Chicago, USA)软件进行统计处理。计量数据以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,计数数据用例数或百分比来描述。狭窄程度轻、中、重组间相关数据的比较采用方差分析法(analysis of variance, ANOVA),按主动脉弓成角与否分组、按主动脉弓发育不良与否分组相关数据比较均采用两独立样本 *t* 检验,血流动力参数与狭窄程度评估使用 Pearson 相关性分析。所有检验为双边检验, *P*<0.05 为差异具有统计学意义。

结 果

1. MRA 检查结果

所有患儿均存在手术部位再狭窄,平均 R/d 为 0.59±0.17,吻合口后均存在不同程度的扩张改变,平均 D/d 为 1.30±0.19,升主动脉未见明显狭窄改变,平均 A/d 为 1.43±0.28(表 1)。主动脉弓发育不良定义为主动脉弓管径与降主动脉管径之比<0.8,共 14 例患儿考虑合并主动脉弓发育不良^[1]。15 例患儿发现主动脉成角畸形(图 1b)。

表 1 超声心动图及 MRA 检查结果

检查项目	$\bar{x} \pm s$
超声心动图	
FR(m/s)	3.40±0.63
PG(mmHg)	47.41±17.79
MRA	
A/d	1.43±0.28
Ar/d	0.90±0.23
R/d	0.59±0.17
D/d	1.30±0.19

2. 按狭窄程度分组比较

根据 R/d 将患者分为轻度狭窄(R/d>70%)、中度狭窄(50%<R/d≤70%)及重度狭窄(R/d≤50%)三组^[1]。轻度狭窄共 15 例(38.46%),中度狭窄 12 例(30.77%),重度狭窄 12 例(30.77%)。采用 ANOVA 分组比较 A/d、Ar/d、D/d、FR 及 PG 值,我们发现重度狭窄患者较轻、中度狭窄患者 FR 和 PG 增高,但未达到统计学上的显著差异(FR: *P*=0.08; PG: *P*=0.06)(表 2)。A/d、Ar/d、D/d 3 组间亦未见显著性差异。相关性分析显示,FR、PG 与 R/d 存在中等程度负相关(FR: *r*=-0.34, *P*=0.04; PG: *r*=-0.40, *P*=0.01),提示血管狭窄程度可影响血流动力,随着狭窄

程度加重,局部流速及压差也逐渐增大,两者间存在线性相关性。

表 2 再狭窄分组 ANOVA 分析

狭窄	$\bar{x}\pm s$	F 值	P 值
FR(m/s)		2.62	0.08
轻度	3.26±0.57		
中度	3.25±0.59		
重度	3.74±0.67		
PG(mmHg)		2.99	0.06
轻度	42.60±14.52		
中度	43.50±15.54		
重度	57.33±20.70		
A/d		1.43	0.25
轻度	3.26±0.57		
中度	3.25±0.59		
重度	3.74±0.67		
Ar/d		0.47	0.63
轻度	42.60±14.52		
中度	43.50±15.54		
重度	57.33±20.70		
D/d		0.88	0.42
轻度	3.26±0.57		
中度	3.25±0.59		
重度	3.74±0.67		

3. 按主动脉弓成角分组比较

分析三维重建图像发现共 15 例患儿存在不同程度主动脉弓扭曲、成角。按是否存在主动脉弓成角进行分组,使用两独立样本 *t* 检验比较 A/d、Ar/d、R/d、D/d、FR 及 PG 值,表 3 结果显示成角组中 D/d 值明显增高,达统计学显著差异($t=-2.90, P=0.01$),同时 Ar/d 明显减低($t=2.90, P=0.01$)。

表 3 主动脉弓成角分组两独立样本 *t* 检验

狭窄	$\bar{x}\pm s$	F 值	P 值
D/d		-2.90	0.01
—	1.25±0.20		
+	1.40±0.14		
Ar/d		2.90	0.01
—	0.96±0.25		
+	0.78±0.12		

4. 按主动脉弓发育不良分组比较

本组患儿平均 Ar/d 为 0.90 ± 0.23 ,按照有无主动脉弓发育不良分为两组,发育不良组 14 例,无发育不良组 25 例。采用两独立样本 *t* 检验比较两组患者 A/d、R/d、D/d、FR 及 PG 值,表 4 结果显示合并主动脉弓发育不良的患儿组 FR 和 PG 增高,达到统计学显著差异(FR: $t=-2.03, P=0.05$;PG: $t=-1.97, P=0.05$)。说明合并主动脉弓发育不良的患儿主动脉弓病变范围较广,引起的血流动力学改变亦更为显

著,但主动脉弓形变无明显差异,说明其血流动力学的异常较为和缓,对血管壁的损伤较小。

表 4 主动脉弓发育不良分组两独立样本 *t* 检验

检查项目	$\bar{x}\pm s$	t 值	P 值
FR(m/s)		-2.03	0.05
—	3.26±0.65		
+	3.65±0.53		
PG(mmHg)		-1.97	0.05
—	43.56±18.33		
+	54.29±15.03		

讨 论

再狭窄是 CoA 患儿术后主要并发症之一,各文献报道发生率约 10%~20%^[7,8]。其形成机制很复杂,据报道各种主动脉缩窄的治疗方法(包括外科手术以及介入治疗)都有不同程度的再狭窄发生率,同时,手术年龄、手术体重、合并主动脉弓发育不良、残余的导管组织、吻合口张力、缝合口疤痕增生等都是再狭窄形成的影响因素^[8,9]。同时,由于主动脉弓术后发生形变,导致局部血流动力异常,血流压力、剪切力均有改变,会继发引起血管壁的损伤及血管重构,进一步加大再狭窄严重程度,并增加其他继发性大血管疾病(动脉硬化、血管内膜损伤)的发生率^[10]。

临床上需要综合患儿影像及体检结果,判断再狭窄的程度及下一步治疗的方案。各大医疗中心对再狭窄诊断标准各有不同,我院心血管中心主要使用的指标是超声心动图,因其方便快捷,是患儿术后门诊随访

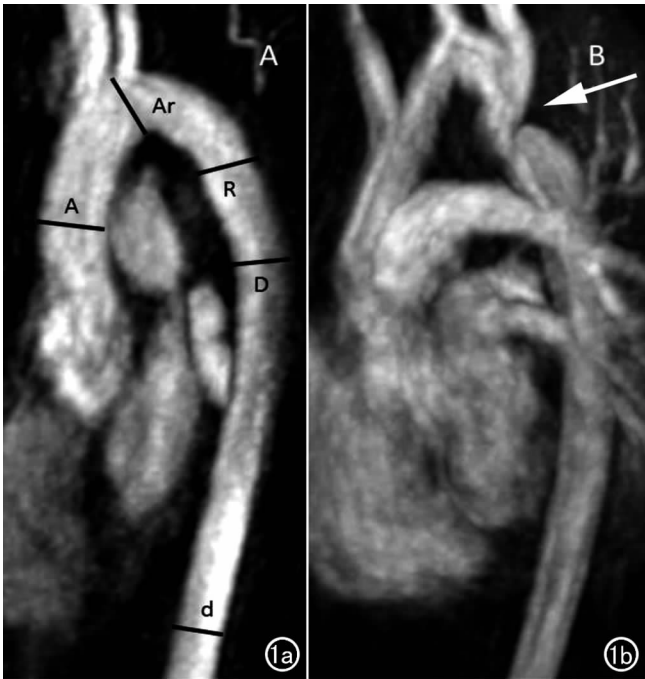


图 1 a) MRA 主动脉成像及测量位置。A:升主动脉;Ar:主动脉弓;R:再狭窄处;D:狭窄后扩张段;d:降主动脉;b) 主动脉弓成角畸形伴再狭窄形成(箭)。

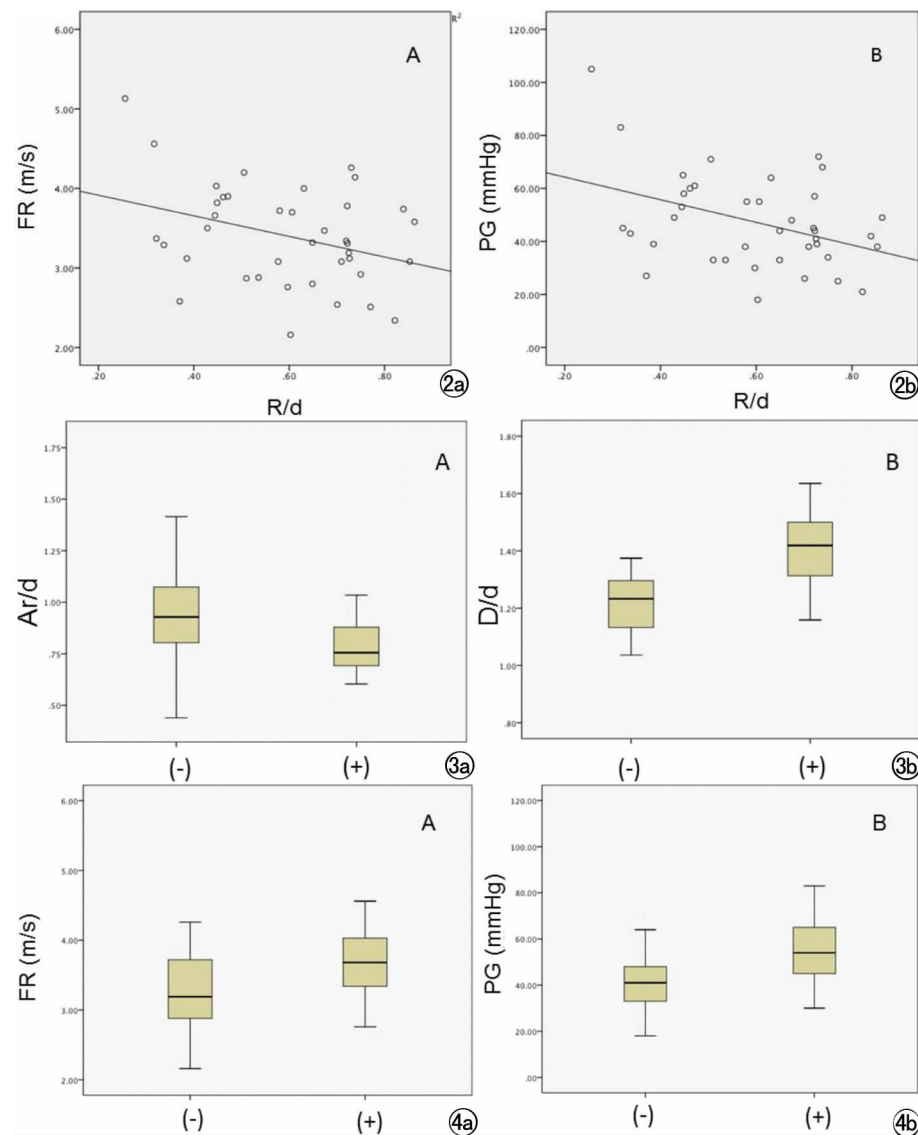


图 2 a) R/d 与 FR 相关性分析; b) R/d 与 PG 相关性分析。

图 3 a) 主动脉成角组中 Ar/d 减低; b) 主动脉成角组中 D/d 值增高。

图 4 a) 主动脉弓发育不良组中 FR 增高; b) 主动脉弓发育不良组中 PG 增高。

的主要影像学方法。若心脏超声提示流速超过 2.2 m/s(压差大于 20 mmHg)则提示存在明显梗阻改变,结合患儿血压及上下肢压差、影像上狭窄处直径决定是否需再次手术治疗。本研究我们发现主动脉手术部位直径与局部流速(压差)成正相关,与多项研究结果相符,提示影像学上的血管直径亦可作为再狭窄的诊断指标之一,有临床实用价值^[8,11]。

主动脉弓构型对血流动力的影响较大,有文献报道,远期高血压的发生与主动脉弓的几何构型密切相关,尖拱状的主动脉弓患儿高血压发生的比率明显增高^[12,13]。本研究发现部分 CoA 术后患者出现主动脉弓形态失常,表现为主动脉弓扭曲、呈尖拱状,弓高比失常,该组狭窄后再扩张也较为显著,考虑可能因主动

脉弓成角导致血流射流加剧,对血管壁冲击力更强,主动脉血管壁受损较严重,引起更为明显的形变。同时该组患儿主动脉弓直径偏小,提示主动脉弓成角的发生可能存在一定病理基础。因此,CoA 术后随访中应关注主动脉弓几何构型,并对存在主动脉弓成角的高危病人进行更密切的随访及更积极的治疗。

主动脉弓发育不良是影响 CoA 手术结果的主要因素之一,残留主动脉弓发育不良是 CoA 术后早期死亡、术后再狭窄及远期高血压发生的重要危险因素之一^[14]。本组患儿中 54.54% 患者存在不同程度主动脉弓发育不良,超声心动图提示这部分患儿术后跨狭窄处 FR、PG 均增高,提示该组患儿血流动力改变更为明显,增加了再次手术治疗的可能性,需要高度关注。

影像学检查是 CoA 术后评估的重要内容,主要方法包括超声心动图、主动脉造影、CT 及 MRA。超声心动图无创、便捷,能实时观察心脏搏动和血流情况,是临床最广泛使用的检查方法,但其对于胸部大血管检查具有一定的局限性,对于再狭窄段的长度测量及侧支循环评估准确度欠佳。数字血管造影属于有创检查,对操作医生及医院的综合技术要求较高,仅在介

入治疗时使用,不易作为常规术后随访技术^[15]。CT 和 MRA 对胸部大血管显影准确性更高,较超声心动图更易发现主动脉再狭窄、动脉瘤形成等病变^[16,17]。2008 年美国心血管学会提出 CoA 术后患儿应每 5 年复查一次 CT 或 MRI 评估主动脉形态,如果合并其他畸形应缩短随访问隙、增加随访频率^[15]。CT 扫描速度快、图像清晰度高,但该检查辐射剂量较大,不适用于小年龄儿童。MRA 检查安全、便捷,无辐射损害,在原始薄层图像基础上结合多种三维重建图像互相补充联合分析,可以从整体上全面观察主动脉再狭窄的位置、程度、侧支循环建立情况以及有无合并其它心血管畸形,不易发生漏诊和误诊,有利于术后对病情的整体评估,制定下一步治疗方案的^[18,19]。

综上所述,本研究对于 CoA 患者术后再狭窄患儿进行 MRA 检查,与超声心动图结果进行相关性研究。研究表明再狭窄处血管直径与局部压差、流速存在相关性,重度狭窄患者血流动力改变更为明显。部分术后患者合并主动脉成角、主动脉发育不良,导致血流动力异常更为明显,这类患者需要更紧密的关注和随访。MRA 在诊断主动脉病变中具有独特优势,结合三维成像技术可全面立体地显示主动脉弓术后形态,辅助超声心动图明确病变程度,指导手术方案的制订和术后的随访,值得推广应用。

参考文献:

- [1] Chen SS, Dimopoulos K, Alonso-Gonzalez R, et al. Prevalence and prognostic implication of restenosis or dilatation at the aortic coarctation repair site assessed by cardiovascular MRI in adult patients late after coarctation repair[J]. *Int J Cardiol*, 2014, 173(2): 209-215.
- [2] Hartman EM, Groenendijk IM, Heuvelman HM, et al. The effectiveness of stenting of coarctation of the aorta: a systematic review[J]. *EuroIntervention*, 2015, 11(6): 660-668.
- [3] Vergales JE, Gangemi JJ, Rhueban KS, et al. Coarctation of the aorta-the current state of surgical and transcatheter therapies[J]. *Curr Cardiol Rev*, 2013, 9(3): 211-219.
- [4] Canniffe C, Ou P, Walsh K, et al. Hypertension after repair of aortic coarctation-a systematic review[J]. *Int J Cardiol*, 2013, 167(6): 2456-2461.
- [5] 朱铭, 钟玉敏. 儿童主动脉梗阻性病变的磁共振诊断[J]. *放射学实践*, 2003, 18(2): 100-102.
- [6] 江菊芬, 孙立军, 黄明霞, 等. 先天性主动脉缩窄的影像学检查: 应用与评价[J]. *放射学实践*, 2003, 18(8): 584-586.
- [7] Como AF, Botta U, Hurni M, et al. Surgery for aortic coarctation: a 30 years experience[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2001, 20(6): 1202-1206.
- [8] 成梦遇. 小儿主动脉缩窄一期纠治术后临床随访研究[M]. 复旦大学, 2010(学位年度).
- [9] Tong F, Li ZQ, Li L, et al. The follow-up surgical results of coarctation of the aorta procedures in a cohort of Chinese children from a single institution[J]. *Heart Lung Circ*, 2014, 23(4): 339-346.
- [10] Olivieri LJ, de Zélicourt DA, Haggerty CM, et al. Hemodynamic modeling of surgically repaired coarctation of the aorta[J]. *Cardiovasc Eng Technol*, 2011, 2(4): 288-295.
- [11] Muzzarelli S, Meadows AK, Ordovas KG, et al. Usefulness of cardiovascular magnetic resonance imaging to predict the need for intervention in patients with coarctation of the aorta[J]. *Am J Cardiol*, 2012, 109(6): 861-865.
- [12] Ou P, Mousseaux E, Celermajer DS, et al. Aortic arch shape deformation after coarctation surgery: effect on blood pressure response[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2006, 132(5): 1105-1111.
- [13] Quennelle S, Powell AJ, Geva T, et al. Persistent aortic arch hypoplasia after coarctation treatment is associated with late systemic hypertension[J]. *J Am Heart Assoc*, 2015, 4(7): e001978.
- [14] Anagnostopoulos PV. When to repair coarctation associated with hypoplastic aortic arch through the front: Are we asking the questions that really matter? [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 152(6): 1475-1476.
- [15] Warnes CA, Williams RG, Bashore TM, et al. ACC/AHA 2008 Guidelines for the Management of Adults with Congenital Heart Disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing committee to develop guidelines on the management of adults with congenital heart disease) [J]. *Circulation*, 2008, 118(23): e714-833.
- [16] Xu J, Zhao H, Wang X, et al. Accuracy, image quality, and radiation dose of prospectively ECG-triggered high-pitch dual-source CT angiography in infants and children with complex coarctation of the aorta[J]. *Acad Radiol*, 2014, 21(10): 1248-1254.
- [17] Padang R, Dennis M, Semsarian C, et al. Detection of serious complications by MR imaging in asymptomatic young adults with repaired coarctation of the aorta[J]. *Heart Lung Circ*, 2014, 23(4): 332-338.
- [18] von Tengg-Kobligh H, Weber TF, Rengier F, et al. Image post-processing of aortic CTA and MRA[J]. *Radiologe*, 2007, 47(11): 1003-1011.
- [19] Rousseau H, Chabbert V, Maracher MA. The importance of imaging assessment before endovascular repair of thoracic aorta[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2009, 38(4): 408-421.

(收稿日期: 2017-03-15 修回日期: 2017-07-09)