

# MSCT低剂量血管成像技术在儿童先天性主动脉畸形 诊断中的应用

杨旭峰, 王霁肱, 彭振鹏, 周旭辉, 李向民\*  
(中山大学附属第一医院放射科, 广东 广州 510080)

**摘要:**【目的】探讨多层螺旋 CT(MSCT)低剂量血管成像技术在儿童先天性主动脉畸形诊断中的应用价值。【方法】对 84 例采用 64 层螺旋 CT 低剂量血管成像技术诊断的儿童先天性主动脉畸形病例作回顾性分析,并与超声心动图(TTE)及手术、心血管造影结果进行比较分析,其中 63 例经手术确诊、21 例经心血管造影证实。术后 CT 复查 26 例。【结果】根据患儿体重分别采取 80、100 及 120 kV 管电压,其例数分别为 32、38 及 14,管电流自动调节(在 35~80 mA 范围变动),X 线辐射剂量(mGy)比预设常规扫描模式减低幅度为 20%~50%不等。所有病例图像均达到诊断标准。全组 84 例中,包括双主动脉弓 3 例、主动脉弓褶曲 10 例、主动脉缩窄 18 例、主动脉弓离断 7 例、单纯动脉导管未闭 41 例、共同动脉干 3 例及主-肺动脉窗 2 例,其中 CT 诊断准确率 97.6%(82/84),TTE 诊断准确率 83.3%(70/84)。84 例中,合并其他畸形共 37 处,其中 CT 发现 32 处,TTE 发现 33 处。术后 CT 复查中,发现术后并发症 7 例。【结论】64 层螺旋 CT 低剂量血管成像能有效降低辐射剂量的同时,可以清晰客观地显示儿童主动脉畸形及其合并畸形的病理解剖,与超声心动图互补,能明显提高主动脉畸形的检出率及诊断准确率,对主动脉畸形的术前诊断及术后疗效观察有重要价值,可基本代替血管造影检查。

**关键词:**心血管疾病,先天性;体层摄影术,X 线计算机

中图分类号:R814 文献标志码:A 文章编号:1672-3554(2015)06-0925-07

## Application of Low-dose Multi-slice Spiral CT Angiography in Children with Congenital Anomalies of Aorta

YANG Xu-feng, WANG Ji-fei, PENG Zhen-peng, ZHOU Xu-hui, LI Xiang-min\*

(Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510080, China)

Corresponding to: LI Xiang-min, E-mail: lixm.1111@163.com

**Abstract:**【Objective】To investigate the applications of low-dose multi-slice spiral CT (MSCT) angiography in children with congenital anomalies of the aorta.【Methods】84 cases of children with congenital anomalies of the aorta who underwent low-dose 64-slice spiral CT angiography were retrospectively analyzed, in which 63 cases confirmed by surgery, 21 cases confirmed by angiography. CT findings were clinically correlated with results of transthoracic echocardiography (TTE), angiography, or surgery. Postoperative CT scans were undergone in 26 cases.【Results】We used tube voltage settings with 80, 100, and 120 kV in 32, 38 and 14 cases respectively based on the weight. The tube current is automatically adjusted (ranged from 35 mA to 80 mA). X-ray radiation dose (mGy) was significantly reduced by 20% to 50% than the preset conventional scan mode. CT image qualities of all cases met the diagnostic requirements. Among the whole group of 84 cases, included double aortic arch in 3 cases, aortic arch fold in 10 cases, aortic coarctation in 18 cases, interrupted aortic arch in 7 cases, simple patent ductus arteriosus in 41 cases, truncus arteriosus in 3 cases and aortopulmonary window in 2 cases, with CT diagnostic accuracy 97.6% (82/84) and TTE diagnostic accuracy 83.3% (70/84). In all 84 cases, a total of 37 combined malformations were detected, which found 34 combined malformations by CT and 33 by TTE. Postoperative complications were found in 7 cases through postoperative CT scans.【Conclusion】Low-dose 64-slice CT angiography can effectually reduce radiation exposure, while it can clearly and objectively show pathologic anatomy of aortic abnormalities and combined malformations in children. Complementary to echocardiography, low-dose 64-slice CT angiography can significantly improve the detection of aortic abnormalities and diagnostic accuracy. It plays a critical role in preoperative diagnosis and evaluation of postoperative therapeutic effect. It can basically replace invasive angiography for evaluation of patients suspected to have aortic disease.

**Key words:** congenital cardiovascular diseases; tomography, X-ray computer

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2015, 36(6):925-931]

收稿日期:2015-04-05

作者简介:杨旭峰,主管技师, E-mail: xf.y999@163.com; \* 李向民,通信作者,副主任医师, E-mail: lixm.1111@163.com

先天性主动脉畸形作为一组先天性心血管疾患,临床并不少见。传统依靠心血管造影确诊。经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)是目前首选的无创检查方法,但由于大血管部分被骨骼(如胸骨)及肺组织遮盖,使超声检查受限,时有漏诊。随着先进的多层螺旋 CT(MSCT)技术的应用,提供了更大的 Z 轴范围、更高的空间分辨率及时间分辨率<sup>[1-2]</sup>。笔者应用 64 层螺旋 CT 对 84 例主动脉畸形病例进行低剂量 CT 血管成像(CTA)及三维重建,通过与手术、造影及超声结果比较分析,探讨其在儿童先天性主动脉畸形诊断中的应用价值。

## 1 材料与方 法

### 1.1 一般资料

搜集 2007 年 5 月至 2014 年 9 月期间有手术或造影结果,并在本院行 64 层螺旋 CT 检查的 84 例儿童先天性主动脉畸形(本组病例包括双主动脉弓、主动脉弓褶曲、主动脉缩窄、主动脉弓离断、单纯动脉导管未闭、永存动脉干及主-肺动脉窗)患者的资料。男 48 例,女 36 例,年龄 27 天至 14 岁,平均年龄 5.5 岁。所有患者均采用低剂量 CT 血管成像技术,并在 CT 检查的近期行 TTE 检查。全部病例均有手术或造影结果,其中手术 63 例,心血管造影 21 例(其中 16 例同时进行介入治疗,包括封堵术或支架植入)。术后复查 26 例中,行 CT 检查时间为术后 12 d ~ 3 年。

### 1.2 影像学检查

1.2.1 64 层螺旋 CT 检查 所有病例均采用 TOSHIBA Aquilion 64 CT 机进行心脏大血管扫描。对不合作的患儿,检查前给予镇静。扫描在平静呼吸下进行,对可以合作的患儿行屏气扫描。采用回顾性心电门控,根据患儿体质量算法<sup>[3]</sup>来决定常规的 80、100、120 kV 管电压的设定,并应用自动管电流调节技术(本组在 45 mA ~ 80 mA 范围变动)。准直 64 层×0.5 mm,螺距因子 1.0, X 线管旋转速度 0.4 s/r。扫描范围从胸廓入口至左膈下 5 cm。扫描方向为头足方向。使用双筒高压注射器,对比剂为优维显(Ultravist,碘含量 370 mg/mL),总量 0.6 ~ 2.0 mL/kg,最多不超过 60 mL,流速 0.5 ~ 2.0 mL/s。最后注射含碘量为 370 mg/mL 的对比剂生理盐水 10 ~ 30 mL(总量中含碘 370 mg/mL

的对比剂占 30%,生理盐水占 70%,利用高压注射器混合注射),可达到既可消除伪影又可保持右心对比度的目的。CT 扫描的延迟时间采用手动触发扫描模式或 SURE-START 模式(造影剂自动跟踪技术),触发点置于主动脉弓,阈值为 150 Hu。

1.2.2 TTE 使用彩色多普勒超声心动图仪,常规采用大动脉短轴、胸骨上切面、左室长轴及心尖四腔位进行观察,对合并有复杂畸形的病例可采用任意切面以更好显示畸形。

### 1.3 图像处理和分析

根据 CT 扫描所获得的原始数据,常规用 75% R-R 间期(即心室舒张末期)进行心脏大血管重建,重建层厚 0.5 cm,间隔 0.3 mm。若部分层面有伪影显示不佳,则选择此层面以 1%R-R 间隔重建,选择最佳时相观察。将所得重建数据传输到工作站(vitrea® 2 version3.7.0),根据观察的部位及结构不同,选择不同类型的二维或三维重建,主要应用多平面重组(MPR)、最大密度投影(MIP)及容积再现(VR)三种方法进行重建。

64 层螺旋 CT 图像分析采用双盲法,由 2 名有经验的影像诊断医师单独分析,意见不统一者共同商讨后得出一致结论。心血管畸形分析依照经典先天性心脏病节段分析法<sup>[4]</sup>即心房、心室、大动脉三节段及房室连接、心室大动脉连接的方法。

### 1.4 统计学方法

应用 SPSS13.0 统计处理软件,对 CT 及 TTE 的准确率采用计数资料率的  $\chi^2$  检验, $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结 果

### 2.1 64 层螺旋 CT 低剂量血管成像与图像质量

本组 84 例,根据患儿体质量分别采取 80、100 及 120 kV 管电压,其例数分别为 32、38 及 14,管电流自动调节(在 35 ~ 80 mA 范围变动),X 线辐射剂量(mGy)均比预设常规扫描模式明显减少,减低幅度 20% ~ 50%不等。所有病例图像均达到诊断标准,即图像对比度好,噪声较小,血管边缘锐利。

### 2.2 主动脉畸形的 MSCT 诊断

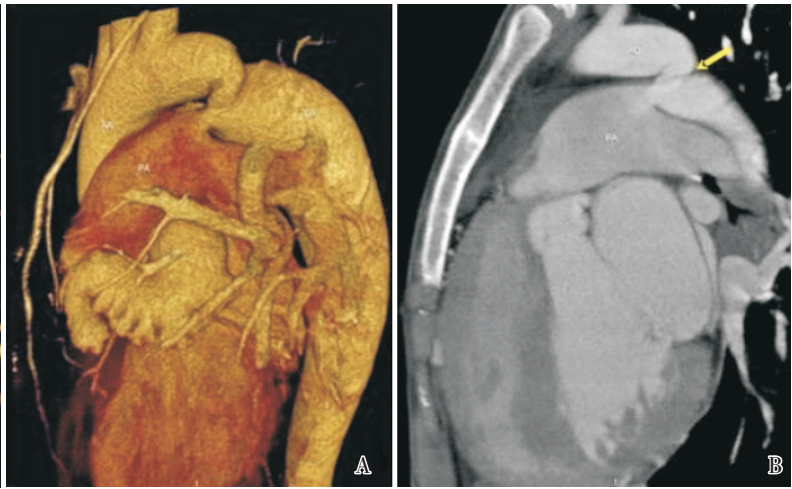
2.2.1 双主动脉弓 3 例 表现为升主动脉远段分成左、右两弓,右侧弓绕气管、食管右后走行,左侧弓经气管、食管前方左行,两者在脊柱左侧汇成降



Double aortic arch in a 9-month-old male. Volume rendering (VR) CT image (posterior view) reveals the right and left arches (arrow) arise from the ascending aorta (AA) and both arches merged into the descending aorta (DA) in the rear.

图1 双主动脉弓

Fig.1 Double aortic arch



Aortic arch fold in a 14-year-old male. A: VR image (lateral view) shows elongation of the distal aortic arch and proximal descending aorta and fold in ductus arteriosus connection, which like inversely "E" or "3" shape. B: Lateral maximum intensity projection (MIP) image shows patent ductus arteriosus (PDA) (arrow) in fold position.

图2 主动脉褶曲合并动脉导管未闭

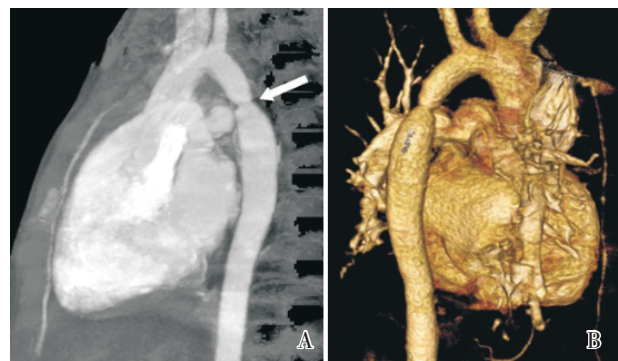
Fig.2 Aortic arch fold combined with patent ductus arteriosus

主动脉。头臂动脉大致对称地发自两弓。双主动脉弓通常有3种类型<sup>[5]</sup>:右侧弓较粗大(占75%)、左侧弓较粗大(占20%)及双弓相同大小(占5%),本组3例均表现为右弓较粗大(图1)。其中1例合并法洛三联症及动脉导管未闭。

2.2.2 主动脉弓褶曲 10例 表现为主动脉弓远端及降主动脉近端异常延长,其中部即动脉韧带固定处向前褶曲,使该段主动脉呈倒"E"或"3"字形(图2)。褶曲远端管腔扩张4例,合并动脉导管未闭3例,室间隔缺损2例,主动脉瓣狭窄2例(CT漏诊)。

2.2.3 主动脉缩窄 18例 表现典型的主动脉缩窄位于主动脉峡部,即左锁骨下动脉开口远端,约占90%以上,本组16例,占89%。少数病例缩窄位于左锁骨下动脉开口之近端,本组2例。缩窄远端均有不同程度的梭形扩张(图3)。合并动脉导管未闭4例,室间隔缺损3例。合并动脉导管未闭者可分为3型<sup>[6]</sup>:导管后、导管前及导管旁型,本组导管后型2例,导管前及导管旁型各1例。

CT可显示侧支循环的形成,表现为重要的侧支循环通路包括锁骨下-乳内-肋间动脉系统、颈动脉-肩胛动脉系统及椎动脉-髓动脉系统均扩张。本组9例显示有不同程度侧支循环通路扩张,



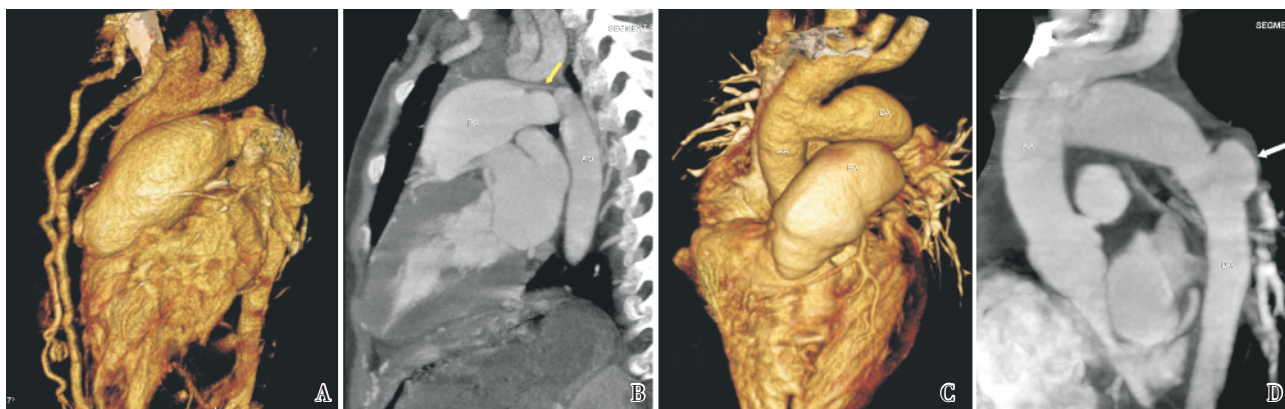
Aortic coarctation in a 5-year-old female. A: Lateral MIP image shows a circular coarctation of proximal descending aorta. B: VR image (right anterior oblique view) reveals a circular coarctation and poststenotic dilatation of the proximal descending aorta.

图3 主动脉缩窄

Fig.3 Aortic coarctation

16例表现有明显的左心室肥厚。

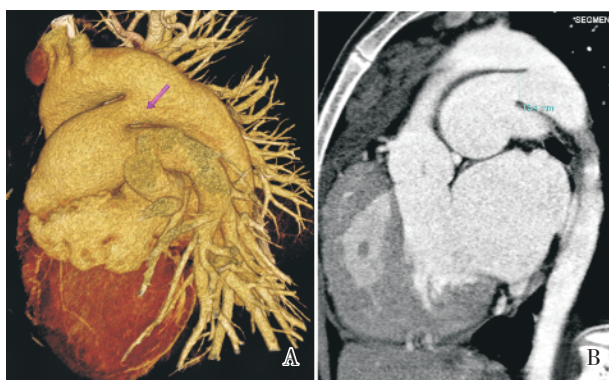
2.2.4 主动脉弓离断 (IAA) 7例 IAA主要分成三种类型:A型:离断发生在左锁骨下动脉远端;B型:离断发生在左颈总动脉远端,左锁骨下动脉由降主动脉近端发出;C型:离断发生在无名动脉远端,左颈总动脉和左锁骨下动脉由降主动脉近端分别发出。临床上以B型IAA最为常见(约占84%)<sup>[7]</sup>,A型次之,C型相对少见。本组7例中,A



Interrupted aortic arch (Type A) in a 3-year-old male. Preoperative: Left anterior oblique VR image (A) and lateral MIP image (B) show aortic interruption just distal to the left subclavian artery (LSA) (arrow). DA connect with pulmonary artery (PA) via ductus arteriosus. The images also show dilated bilateral internal mammary artery, intercostal arteries and PA. Postoperative: VR image (C) shows DA is connected to AA after surgical correction. MIP image (D) shows aneurysm of DA (arrow).

图 4 主动脉弓离断(A型)

Fig.4 Interrupted aortic arch (Type A)



Patent ductus arteriosus (PDA) in a 13-year-old female. VR (A) and lateral MIP (B) image show PDA (type conical) (arrow) between DA and PA. Note the enlargement of PA.

图 5 动脉导管未闭(漏斗型)

Fig.5 Patent ductus arteriosus (Type conical)

型 3 例, B 型 4 例。

合并畸形: IAA 存活患者总是与动脉导管未闭并存。本组 7 例均合并动脉导管未闭及室间隔缺损, 即所谓 IAA 的三联征(图 4)。1 例合并房间隔缺损。3 例有明显侧支循环形成, 表现与主动脉缩窄相似。

2.2.5 单纯动脉导管未闭(PDA)41 例 为了便于统计, 本组只收录已行手术或介入治疗的单发动脉导管未闭病例, 男:女为 17:24, 文献报道男:女为 1:2<sup>[8]</sup>。CTA 表现为未闭动脉导管连接在肺动脉主干(或左肺动脉近端)与降主动脉左锁骨下动脉

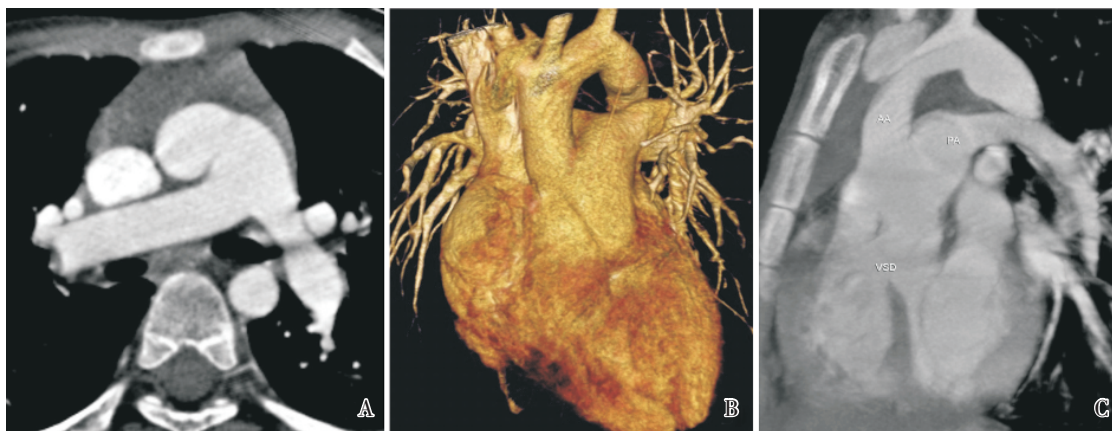
开口远端之间。PDA 可分成漏斗型, 圆柱型和窗型三种类型。漏斗形状的动脉导管较常见, 本组 26 例(图 5), 圆柱型及窗型分别为 13 例及 2 例。

2.2.6 共同动脉干 3 例 CTA 显示: 自心室发出一支大动脉(共同动脉干), 肺动脉、主动脉及冠状动脉均由此发出, 共同动脉干骑跨 2 例, 完全发自右心室 1 例。根据共同动脉干发出肺动脉的方式及部位, 通常分为三型: I 型: 自心室发出的共同动脉干发出冠状动脉后上行, 其右侧发出升主动脉, 左侧发出肺动脉主干, 由肺动脉主干分出左、右肺动脉(图 6), 本组 2 例; II 型: 自共同动脉干的背侧壁发出左、右肺动脉; III 型: 自共同动脉干的左、右侧壁分别发出左、右肺动脉, 本组 1 例。合并畸形: 室间隔缺损(3 例)、右位主动脉弓(1 例)。

2.2.7 主-肺动脉窗 2 例 本畸形临床罕见。CTA 表现为在升主动脉和肺动脉主干之间存在缺损, 缺损常位于主动脉瓣上方不远处升主动脉和肺动脉干之间。临床分三型<sup>[9]</sup>: I 型, 缺损发生在主-肺动脉间隔近端; II 型, 缺损发生在主-肺动脉间隔远端; III 型, 主-肺动脉间隔完全缺损。本组 2 例均为 I 型病例(图 7), 男、女各 1 例, 均合并有左、右心室增大, 室壁增厚及肺动脉扩张等间接表现。

### 2.3 与手术、造影及超声的比较

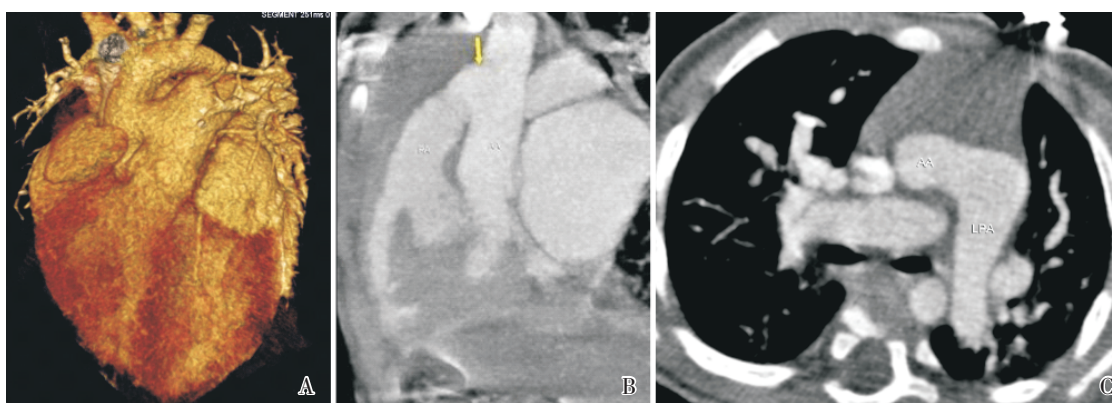
手术及心血管造影证实的 84 例主动脉畸形患儿中, 手术占 63 例, 心血管造影 21 例, 其中造影病例主要分布在做介入治疗的患儿, 包括 13 例



Truncus arteriosus in a 6-year-old male. A: Axial CT image showS the main pulmonary trunk arises from the truncal artery (TA) and then divide left and right pulmonary artery. B: VR image shows truncal bifurcation into the aorta and main pulmonary artery. C: MIP image shows the TA mainly arising from the right ventricle and ride on the ventricular septal defect (VSD), truncal bifurcation into the aorta and main pulmonary artery.

图 6 共同动脉干 (I 型)

Fig.6 Truncus arteriosus (Type I)



Aortopulmonary window in a 7-month-old male. VR (A), lateral MIP (B) and axial image (C) show septal defect between AA and PA (arrow). Note the mild enlargement of PA.

图 7 主-肺动脉窗

Fig.7 Aortopulmonary window

动脉导管未闭做封堵术及 5 例主动脉缩窄做支架植入术,其余 3 例造影后认为不适合做介入治疗。64 层螺旋 CT 与 TTE 诊断的准确率分别为 97.6% 及 83.3%, 两种检查的诊断准确率有显著差异( $\chi^2 = 13.6, P < 0.05$ )。在合并畸形方面,手术及心血管造影证实共 37 处,其中 64 层螺旋 CT 发现 32 处,TTE 发现 33 处,两者的诊断准确率无显著差异(表 1)。

#### 2.4 术后随访病例

术后复查 26 例中,CT 发现术后并发症 7 例,其中动脉导管未闭结扎术后再通 2 例,封堵术后再通 1 例;主动脉弓离断纠正术后降主动脉瘤 1 例(图 4),经手术切除后再发;主动脉缩窄松解术后再窄 2 例,其中一例狭窄明显经介入治疗后解除;

共同动脉干术后心包积液及胸腔大量积液 1 例。

### 3 讨论

#### 3.1 关于 MSCT 低剂量血管成像技术的应用

近年来关于 X 线检查的放射危险意识越来越受到业界的重视,在不影响图像诊断质量的前提下应尽可能地减低 CT 检查的放射剂量,即贯彻最低剂量原则 ALARA (as low as reasonably achievable),特别是在儿童及育龄期妇女,这已成为业界的广泛共识。儿童低剂量 CT 血管成像的应用研究在国内外已有报道<sup>[10-11]</sup>。目前降低 CT 辐射剂量的方法主要有降低管电压(kV)及降低管电流

表 1 84 例先天性主动脉畸形 64 层 CT 与手术、血管造影及 TTE 结果对照表

Table 1 CT findings correlated with results of TTE, angiography, or surgery in 84 cases of congenital anomalies of the aorta

Anomalies	Confirmed by surgery or angiography	Low-dose CTA		TTE	
		Correct	Missed or incorrect	Correct	Missed or incorrect
Anomalies of aorta					
Double aortic arch	3	3		2	1
Aortic arch fold	10	10		7	3
Aortic coarctation	18	18		14	4
Interrupted aortic arch	7	6	1	6	1
Simple PDA	41	40	1	36	5
Truncus arteriosus	3	3		3	
Aortopulmonary window	2	2		2	
Total	84	82	2	70	14
Combined malformations					
PDA	15	14	1	11	4
VSD	16	14	2	16	
ASD	1	1		1	
Aortic valve stenosis	2		2	2	
Aortic overriding	1	1		1	
Pulmonary artery stenosis	1	1		1	
Right aortic arch	1	1		1	
Total	37	32	5	33	4

(mA)两方面,其他方法包括增加螺距、调整层厚及缩短扫描长度等。本组病例通过低管电压设置与自动管电流调节相结合,有效降低放射剂量,而所有病例的图像质量均达到诊断要求,从而使 MSCT 在儿童心血管疾病的临床应用中显示出更多的优越性<sup>[12]</sup>。目前更多排数(128 及 320 排)及更高效的探测器、采用迭代算法以及双源 CT 等技术的应用,为低剂量 CT 扫描提供了更有力的支持<sup>[10,13]</sup>。与此同时,由于扫描时间的缩短及更加个性化的扫描方案,碘对比剂的使用也可有效减少,进一步提高了 CTA 检查的安全性。

### 3.2 关于儿童主动脉畸形 CTA 诊断中需要注意的问题

①首先要注意扫描方法,把握好扫描延迟时间,同时应在患儿能安静平卧及平静呼吸的情况下扫描,以避免解剖层面的丢失。在应用低剂量扫描方案的同时,要注意做好扫描范围以外部位的防护,将 X 线对患儿的影响减少至最低限度。②通过本组病例分析,反映出在诊断工作中,可运用先心病节段分析法,先对轴位图像逐层分析,再结合

三维重建图像。观察应先从主动脉弓上层开始,注意分析主动脉弓与头臂动脉的关系、主动脉与肺动脉的位置关系以及主动脉本身的形态大小和行走路径,发现畸形确立诊断后,再作出进一步的分型诊断。③要注意并发畸形的观察,切勿遗漏合并的复杂畸形,以免影响手术方案的制订。④术后随访的病例如果对其他影像检查有疑议,应首选 MSCT 作为检查手段,以便及时发现并发症及评估疗效。

### 3.3 关于 MSCT 诊断主动脉畸形的局限性和与其他方法的比较

从本组病例可看出,82 例手术或造影结果与 MSCT 诊断相同(82/84),反映了 MSCT 对本病诊断的价值。但也存在一定的局限性:①MSCT 是横断面扫描,可因呼吸运动或患儿不配合造成个别层面丢失而漏诊或对局部解剖结构的观察造成困难,本组有 1 例主动脉弓离断及 1 例动脉导管未闭漏诊,合并畸形中有 1 处动脉导管未闭、室间隔缺损及主动脉瓣狭窄各 2 处漏诊就是例证;②不能反映各心腔、大血管的压力及血氧情况<sup>[14]</sup>。与其

他方法比较:①TTE 因其性价比高、检查简便及无辐射而常被作为先心病的首选无创检查,但由于其视野小、对比分辨率及空间分辨率不如 MSCT,且大血管部分被骨骼(如胸骨)及肺组织遮盖,使超声检查受限,易造成误漏诊。本组 41 例动脉导管未闭中漏诊 5 例,18 例主动脉缩窄漏诊 4 例,15 处合并畸形(动脉导管未闭)漏诊 4 处,反映了其对本病诊断的不足。②心血管造影与 MSCT 比较,其优点是在显示解剖畸形的同时可提供血流方向、压力及血氧情况,但其不足之处在于是有创性检查,婴幼儿需要麻醉下进行,图像空间分辨率不及 CT。本组有 21 例心血管造影病例,主要分布在做介入治疗的患儿,包括 13 例动脉导管未闭做封堵术及 5 例主动脉缩窄做支架植入术,其余 3 例由于造影后不适合做介入治疗而转院。③MRI 在诊断主动脉畸形方面也能得到较好的效果<sup>[15]</sup>,具有无放射线损害、无需使用造影剂等优点,但由于患儿大多无法屏气检查,且部分患儿发育较差,易造成部分病例主动脉弓及动脉导管的显示欠佳。

综上所述,应用 64 层 MSCT 低剂量血管成像及三维重建技术,结合 TTE 检查,可准确作出儿童先天性主动脉畸形的诊断及分型,同时也可全面了解合并畸形,可基本替代有创的常规心血管造影,可作为主动脉畸形术前诊断及术后随访的常规影像学检查。

#### 参考文献

- [1] 杨有优,王思云,周旭辉,等. 64 层螺旋 CT 诊断复杂先天性心脏病及与超声心动图和手术对照[J]. 临床放射学杂志, 2007, 26(10): 1029-1032.  
Yang YY, Wang SY, Zhou XH, et al. The clinical application of 64 slice computed tomography in the diagnosis of complex congenital heart disease[J]. J Clin Radiol, 2007, 26(10): 1029-1032.
- [2] 李向民,周旭辉,杨有优,等. 电子束 CT 诊断婴幼儿先天性心脏病与超声心动图及手术对照[J]. 中华放射学杂志, 2003, 37(7): 644-647.  
Li XM, Zhou XH, Yang YY, et al. Electronic beam CT diagnosis of infant congenital heart disease with the comparison of echocardiogram and operation[J]. Chin J Radiol, 2003, 37(7): 644-647.
- [3] Christopher H, Denise MM, Shaun AN, et al. Pediatric cardiovascular CT angiography: radiation dose reduction using automatic anatomic tube current modulation [J]. AJR, 2008, 190(5): 1232-1240.
- [4] Van Praagh R. The segmental approach to diagnosis of congenital heart disease[M]. Baltimore: Williams and Wilkins, 1972: 4-23.
- [5] Afra Y, Nevzat K, Serap D, et al. Congenital thoracic arterial anomalies in adults: A CT overview[J]. Diagn Interv Radiol, 2011, 17(4): 352-362.
- [6] Utuk O, Karaca M, Bayturan O, et al. Coarctation of the aorta evaluated with 64-row multidetector computed tomography[J]. Int J Cardiol, 2006, 111(8): 169-171.
- [7] Yang DH, Goo HW, Seo DM, et al. Multislice CT angiography of interrupted aortic arch [J]. Pediatr Radiol, 2008, 38(10): 89-100.
- [8] Eric TK, Gabriela M, Ana LM, et al. Uncommon congenital and acquired aortic diseases: role of multidetector CT angiograph[J]. Radiographics, 2010, 30(1): 79-98.
- [9] Sridhar PG, Kalyanpur A, Suresh PV, et al. Helical CT evaluation of aortopulmonary window [J]. Ind J Radiol Imag, 2006, 16(4): 847-849.
- [10] Cheng Z, Wang X, Duan Y. Low-dose prospective ECG-triggering dual-source CT angiography in infants and children with complex congenital heart disease: first experience[J]. Eur Radiol, 2010, 20(10): 2503-2511.
- [11] Kim JE, Newman B. Evaluation of a radiation dose reduction strategy for pediatric chest CT [J]. AJR, 2010, 194(5): 1188-1193.
- [12] Schindera ST, Nelson RC, Yoshizumi T. Effect of automatic tube current modulation on radiation dose and image quality for low tube voltage multidetector row CT angiography: phantom study[J]. Acad Radiol, 2009, 16(8): 997-1002.
- [13] Paul JF, Rohnean A, Elfassy E. Radiation dose for thoracic and coronary step-and-shoot CT using a 128-slice dualsource machine in infants and small children with congenital heart disease [J]. Pediatric Radiol, 2011, 41(2): 244-249.
- [14] 王思云,杨有优,周旭辉,等. 64 层螺旋 CT 在主动脉畸形诊断中的价值[J]. 中山大学学报: 医学科学版, 2009, 30(3S): 113-116.  
Wang SY, Yang YY, Zhou XH, et al. Clinical Application of 64 MSCT in Diagnosis of Aortic Abnormalities [J]. J SUN Yat-sen Univ: Med Sci, 2009, 30(3S): 113-116.
- [15] Frank L, Dillman JR, Parish V, et al. Cardiovascular MR imaging of conotruncal anomalies [J]. Radiographics, 2010, 30(4): 1069-1094.