

128 层 MSCT 虚拟仿真内镜技术在婴幼儿先天性心脏病的应用

刘永熙, 陈文俊, 黄育斌, 韩鹏慧, 黄煌, 谭昱, 孙善权

【摘要】 目的:探讨 128 层 MSCT 虚拟仿真内镜技术(VE)对婴幼儿先天性心脏病的诊断价值。**方法:**回顾性分析 67 例先天性心脏病患儿 128 层螺旋 CT 和经胸壁超声心动图(TTE)资料,并与手术结果作对照。采用 5 分单盲法评价 VE 图像质量,比较心房心室和大血管的差异,建立 VE 飞行路径规划。**结果:**VE 诊断主要心脏结构异常的总符合率 51.7%~100%,灵敏度 51.7%~100%;MPR 总符合率 53.3%~100%,灵敏度 53.3%~100%;TTE 总符合率 25.0%~100%,灵敏度 25.0%~100%。VE 和 MPR 在室间隔缺损、右心室双出口、大动脉转位、肺动脉狭窄、冠状动脉畸形和血管环的诊断中其总符合率和灵敏度都高于 TTE,但诊断房间隔缺损及卵圆孔未闭的总符合率和灵敏度不如 TTE。VE 在显示结构异常的直观性和三维空间感优于 MPR。VE 图像质量评分对比:RA 与 LV、RV、LA 及大血管图像评分均存在显著性差异($P=0.000<0.01$),LA 与 RV($P=0.006<0.01$)、大血管图像评分存在显著性差异($P=0.002<0.01$)。大血管 VE 图像质量最佳,其后为 RV 及 LV,LA、RA 图像质量最差。VE 飞行路径规划时应将左右心系统分别建立。**结论:**128 层 MSCT 虚拟仿真内镜技术可准确显示婴幼儿先天性心脏病的心腔和大动脉的异常结构,尤其对室间隔缺损、圆锥动脉干畸形和冠状动脉畸形较 TTE 更准确。VE 有更强的直观性和三维空间感,更接近心脏直视手术视野,有助于手术方案的合理设计,对提高虚拟手术教学和改善医患术前交流有重要意义。

【关键词】 心脏病; 内镜检查; 体层摄影术, X 线计算机

【中图分类号】 R541; R443.7; R814.4 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2022)02-0248-08

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.02.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of 128-slice MSCT with virtual endoscopy in infants and children with congenital heart disease LIU Yong-xi, CHEN Wen-jun, HUANG Yu-bin, et al. Department of Radiology, Heart Center, Guangdong Women and Children Hospital, Guangzhou 510010, China

【Abstract】 Objective: To explore the value of 128-slice MSCT with virtual endoscopy in the diagnosis of infants and children with congenital heart disease, as well as flight path planning and clinical application. **Methods:** The 128-slice spiral CT and transthoracic echocardiography (TTE) data of 67 children with congenital heart disease were retrospectively analyzed and compared with the surgical results. The image quality of VE was evaluated by 5-point single blind method, and the differences between left and right atrioventricular and large arteries were compared, to establish the flight path planning. **Results:** The coincidence rate of VE in the diagnosing of important cardiac structural abnormalities was (51.7%~100%) and the sensitivity was (51.7%~100%), the coincidence rate of MPR was (53.3%~100%) and the sensitivity was (53.3%~100%), and the coincidence rate for TTE was (25.0%~100%) and the sensitivity was (25.0%~100%). The coincidence rate and sensitivity of VE and MPR were higher than TTE in the diagnosis of VSD, DORV, TGA, pulmonary artery stenosis, coronary artery malformation and vascular ring. But the coincidence rate and the sensitivity of VE in the diagnosing of atrial septal defect and patent foramen ovale were lower than TTE. VE was superior to MPR in the visibility of displaying structural abnormalities and the sense of three-dimensional space. From the comparison among different anatomic regions, there was a significant difference between RA and LV, RV, LA and large vessels in the image quality evaluation ($P=0.000<0.01$), also

作者单位: 510010 广州, 广东省妇幼保健院放射科(刘永熙、陈文俊、黄育斌、韩鹏慧、黄煌、谭昱); 心脏中心(孙善权)

作者简介: 刘永熙(1977-), 男, 广东广州人, 副主任医师, 主要从事儿科影像诊断工作。

基金项目: 2018 年广东省医学科研基金立项(B2018052)

the score of LA has significant difference compared with RV ($P=0.006<0.01$) and large vessels ($P=0.002<0.01$). The VE image quality of large vessels was the best, followed by RV, LV, LA and RA. The left and right heart systems should be established separately in VE flight path planning. **Conclusion:** The 128-slice MSCT with VE can accurately display the structure abnormalities of cardiac cavity and large vessels in infants and children with congenital heart disease, especially for ventricular septal defect, conic artery trunk malformation and coronary artery origin, which is more accurate than TTE. VE has good visibility and three-dimensional space sense for displaying structural abnormalities, which is closer to the vision field of open-heart surgery and helpful for rational design of surgical plan. This is of great significance to improve the teaching level of virtual surgery and the communication between doctors and patients before surgery.

【Key words】 Heart diseases; Endoscopy; Tomography, X-ray computed

近年来随着前瞻性心电门控、低管电压和迭代重建等新技术的应用,多层螺旋 CT 的扫描辐射剂量已明显下降,日渐成为婴幼儿先天性心脏病的常规检查方法。传统多平面重组技术(multi-planar reconstruction, MPR)仅从二维角度在显示心内结构,并不能满足复杂先天性心脏病精确诊断的要求,有必要应用三维显示技术作为补充。目前国内少有在婴幼儿应用 MSCT 虚拟仿真内镜技术(virtual endoscopy, VE)评价先天性心脏病的研究报道,笔者将对其应用价值作进一步研究。

材料与方法

1. 一般资料

搜集 2018 年 1 月—2020 年 8 月就诊 67 例先天性心脏病婴幼儿,均作术前经胸壁超声心动图(TTE)和 128 层螺旋 CT 检查。男 48 例,女 19 例。年龄 1 天~24 个月,平均年龄 90 天。体重 4.8 ± 3.0 kg。临床表现有呼吸困难、出生后口唇和颜面紫绀等。全部病例经手术证实。其中 1 期肺动脉闭锁术后死亡 1 例。

2. 设备与成像方法

采用西门子 Somatom Definition AS+ 128 层 CT 扫描仪。扫描前将患儿用咪达唑仑镇静。未进行心率控制。常规对患儿的晶状体和性腺用铅皮护罩保护。取仰卧位扫描。扫描范围均自胸廓入口至左膈下 2 cm 行心脏 CTA 扫描。对比剂使用欧乃派克(300 mg I/mL),剂量为 $2.0\sim 2.5\text{ mL/kg}$,用双筒高压注射器,注射速率 $0.5\sim 2.0\text{ mL/s}$,使用对比剂跟踪技术自动触发扫描或手动触发扫描。扫描参数: $80\sim 100\text{ kV}$, $80\sim 150\text{ mA}$,准直 $128\times$

0.625 mm ,转速为 0.4 秒/周 ,层厚 0.6 mm 。扫描采用前瞻性心电门控(心率低于 120 次/分)和回顾性心电门控(心率高于 120 次/分)。前瞻性心电门控采集时间窗为 $30\%\sim 50\%$ R-R 间期的自动最佳期相。扫描结束后将数据传送至 syngo MMWP 工作站行 MPR、最大密度投影(MIP)、容积再现(VR)及 VE 图像处理。将 VE、MPR 和经胸壁超声心动图(TTE)与术中探查结果比较。

VE 成像、飞行路径规划及图像评价:所有患儿在容积扫描后将所有获得的容积扫描数据传到 syngo MMWP 工作站获得 VE 三维图像,通过手动调整 CT 阈值和透亮度,重建出左右心房、心室及大血管内表面图像,利用管腔导航技术(3D-Fly navigation)获得仿真内镜效果。

VE 飞行路径规划分别以左右心系统作标记。在左心系统中起始点和结束点分别设在左心房顶端和降主动脉(图 1)。右心系统中起始点和结束点分别设在右心房顶端和主肺动脉(图 2)。分别观察左右心房、左右心室和主、肺动脉的腔结构。以 Van Praagh 节段

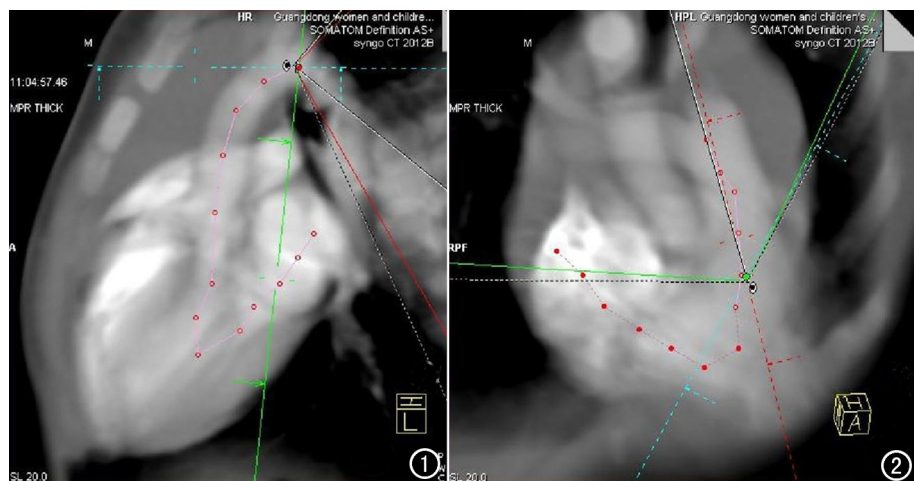


图 1 左心的 VE 飞行路径规划:左心房-左心室-主动脉。图 2 右心的 VE 飞行路径规划:右心房-右心室-肺动脉。

分析法重点评价:①心室-大动脉连接关系。②主动脉和肺动脉的位置关系。③房室间隔是否完整。④房室连接的情况。⑤冠状动脉的起源等畸形。⑥肺动脉情况。⑦其他心内外异常结构。

采用 5 分单盲法评价 VE 图像质量。5 分:图像质量优秀,无伪影,有很高的诊断信心。4 分:图像质量较好,轻微伪影,有较高的诊断信心。3 分:图像质量中等,中度伪影,通过仔细观察能作出诊断。2 分:图像质量欠佳,重度伪影,部分解剖结构不能清晰显示。1 分:图像质量不合格,严重伪影,不能获取有用信息。128 层螺旋 CT 图像由两名有心脏 CTA 诊断经验的医师分别评价,意见不一致时协商解决。

3. 经胸壁超声心动图 (transthoracic echocardiography, TTE)

采用彩色多普勒超声心动图仪 (飞利浦 IE33 型超声诊断仪),常规采用左室长轴、大动脉短轴、心尖四腔、胸骨上切面和更佳显示畸形的任意切面。

4. 统计学分析

①以手术结果作为对照,分别计算 VE、MPR 及 TTE 对主要心脏结构异常检出的灵敏度及总符合率;②采用行×列卡方检验对左心室 (left ventricle, LV)、右心室 (right ventricle, RV)、左心房 (left atrium,

LA)、右心房 (right atrium, RA) 及大动脉图像质量评分进行组间比较,以 $P<0.01$ (Bonferroni 法调整后检验水准) 为差异有统计学意义。上述分析均在 PASW 18.0 上进行。

结 果

本组 67 例患儿行 128 层 MSCT 检查顺利,均获得满意图像。各病例的原始轴面图像均可显示所有病变信息。各重组方法所得图像能显示室间隔、心内结构、心室-大动脉连接关系和心外大血管的走行。67 例先心病手术中行 1 期根治手术有 62 例,2 期手术有 5 例;包括 2 期手术中行根治术 1 例;行姑息手术 4 例,其中 3 例三尖瓣闭锁行 1 期中央分流术+2 期全腔静脉-肺动脉连接术;1 例十字交叉心行 1 期 Banding 术+2 期全腔静脉-肺动脉连接术。

1. 手术结果

67 例先心病中 57 例并存 2 种或 2 种以上心血管畸形的复杂先心病。手术证实畸形共 219 处 (表 1)。分类:①心内畸形:包括房间隔缺损 15 例 (均为单处缺损);卵圆孔未闭 29 例;完全型房室间隔缺损 2 例;三尖瓣闭锁 3 例;室间隔缺损 59 例,共 62 处 (单处缺损 59 例,两处缺损 3 例) (图 3,4),包括主动脉瓣下型

表 1 手术结果及 VE、MPR 与 TTE 对心脏结构异常的检出

畸形种类	手术证实	VE		MPR		TTE	
		确诊	误漏诊	确诊	误漏诊	确诊	误漏诊
心内畸形							
房间隔缺损	15	8	7	8	7	15	0
卵圆孔未闭	29	15	14	18	11	29	0
完全型房室间隔缺损	2	2	0	2	0	2	0
三尖瓣闭锁	3	3	0	3	0	3	0
室间隔缺损	62	60	2	61	1	58	4
右心室发育不良	3	3	0	3	0	3	0
十字交叉心	1	1	0	1	0	1	0
心脏大血管连接畸形							
右心室双出口	24	23	1	23	1	22	2
大动脉转位	7	6	1	6	1	5	2
法洛氏四联症	8	8	0	8	0	8	0
共同动脉干	1	1	0	1	0	1	0
大血管畸形							
主动脉-左心室隧道	1	0	1	0	1	0	1
主动脉缩窄	7	7	0	7	0	6	1
主动脉弓离断	2	2	0	2	0	2	0
主动脉瓣下隔膜	2	2	0	2	0	2	0
血管环	4	4	0	4	0	1	3
永存第五弓	1	1	0	1	0	1	0
肺动脉狭窄	12	12	0	12	0	10	2
肺动脉闭锁	1	1	0	1	0	1	0
肺动脉起源异常	1	1	0	1	0	1	0
动脉导管未闭	23	21	2	21	2	22	1
主肺动脉窗	1	1	0	1	0	1	0
其他畸形							
冠状动脉畸形	5	5	0	5	0	2	3
迷走血管	4	4	0	4	0	3	1
合计	219	191	27	195	23	199	19

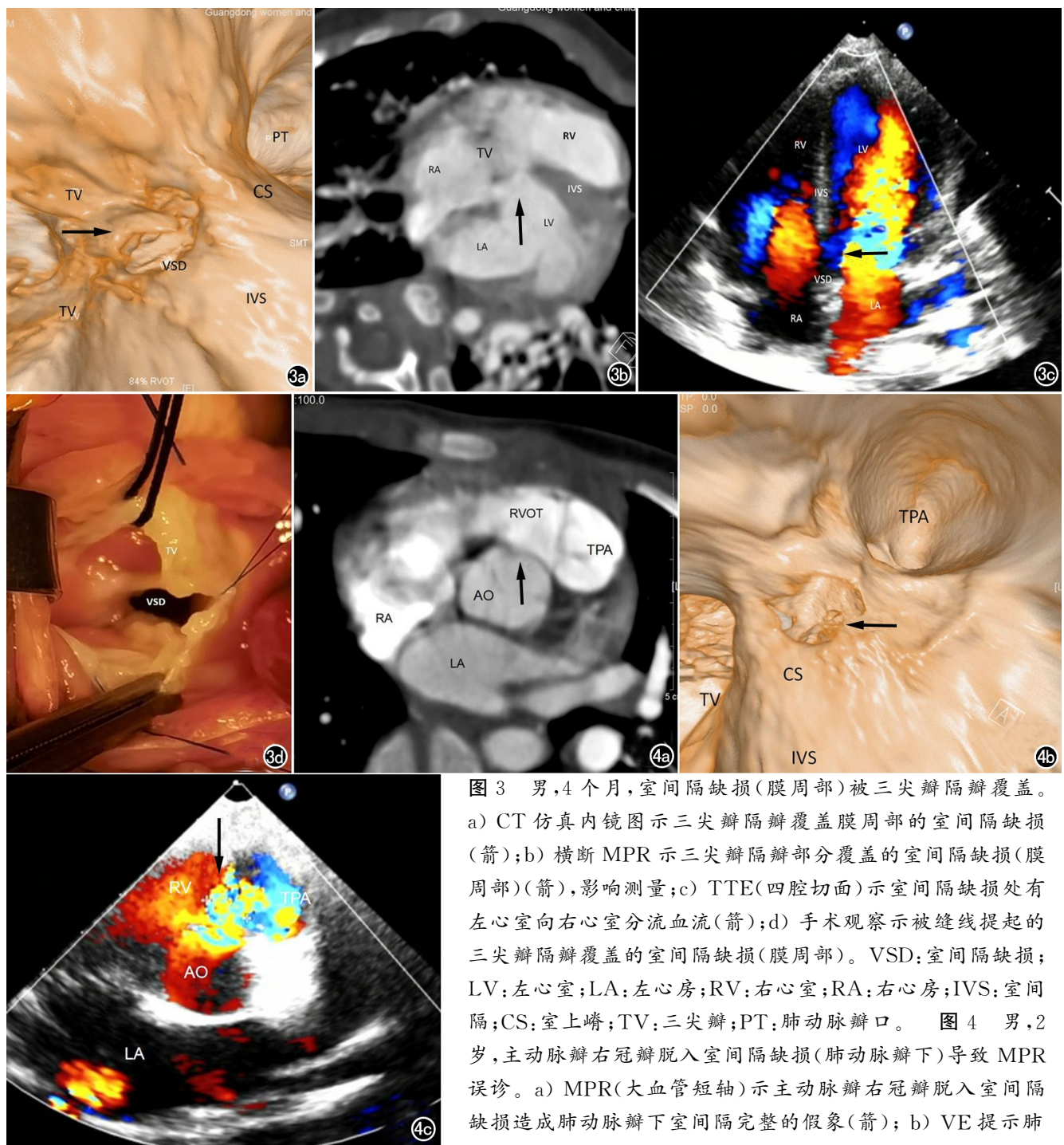


图3 男,4个月,室间隔缺损(膜周部)被三尖瓣隔瓣覆盖。
a) CT仿真内镜图示三尖瓣隔瓣覆盖膜周部的室间隔缺损(箭);b) 横断MPR示三尖瓣隔瓣部分覆盖的室间隔缺损(膜周部)(箭),影响测量;c) TTE(四腔切面)示室间隔缺损处有左心室向右心室分流血流(箭);d) 手术观察示被缝线提起的三尖瓣隔瓣覆盖的室间隔缺损(膜周部)。VSD:室间隔缺损;LV:左心室;LA:左心房;RV:右心室;RA:右心房;IVS:室间隔;CS:室上嵴;TV:三尖瓣;PT:肺动脉瓣口。
图4 男,2岁,主动脉瓣右冠瓣脱入室间隔缺损(肺动脉瓣下)导致MPR误诊。a) MPR(大血管短轴)示主动脉瓣右冠瓣脱入室间隔缺损造成肺动脉瓣下室间隔完整的假象(箭);b) VE提示肺

动脉瓣下室间隔缺损(箭)的位置和形态。由于远离三尖瓣口决定手术入路需切开肺动脉干;c) TTE(大血管短轴)提示肺动脉瓣下室间隔缺损的分流血流(箭)。TPA:肺动脉干;RV:右心室;RVOT:右心室流出道;LA:左心房;RA:右心房;AO:主动脉;IVS:室间隔;CS:室上嵴;TV:三尖瓣。

17处,肺动脉瓣下型4处,两大动脉瓣下型1处,远离两大动脉型8处,干下型8处,嵴内型1处,膜周部18处,肌部5处;右心室发育不良3例;十字交叉心1例。
②心脏-大血管连接畸形:包括右心室双出口24例(主动脉瓣下型14例,肺动脉瓣下型3例,两大动脉瓣下型1例,远离两大动脉型6例);大动脉转位7例;法洛氏四联症8例,共同动脉干1例。
③大血管畸形:主动

脉系畸形共17例,包括主动脉-左心室隧道1例(图5),主动脉缩窄7例;主动脉弓离断2例;主动脉瓣下隔膜2例;血管环4例;永存第五弓1例(图6);肺动脉畸形共14例,包括肺动脉狭窄12例;肺动脉闭锁1例;肺动脉起源异常1例(图7);大动脉水平分流畸形共24例,包括动脉导管未闭23例,主肺动脉窗1例;
④其他:冠状动脉畸形共5例,包括冠状动脉瘘2例

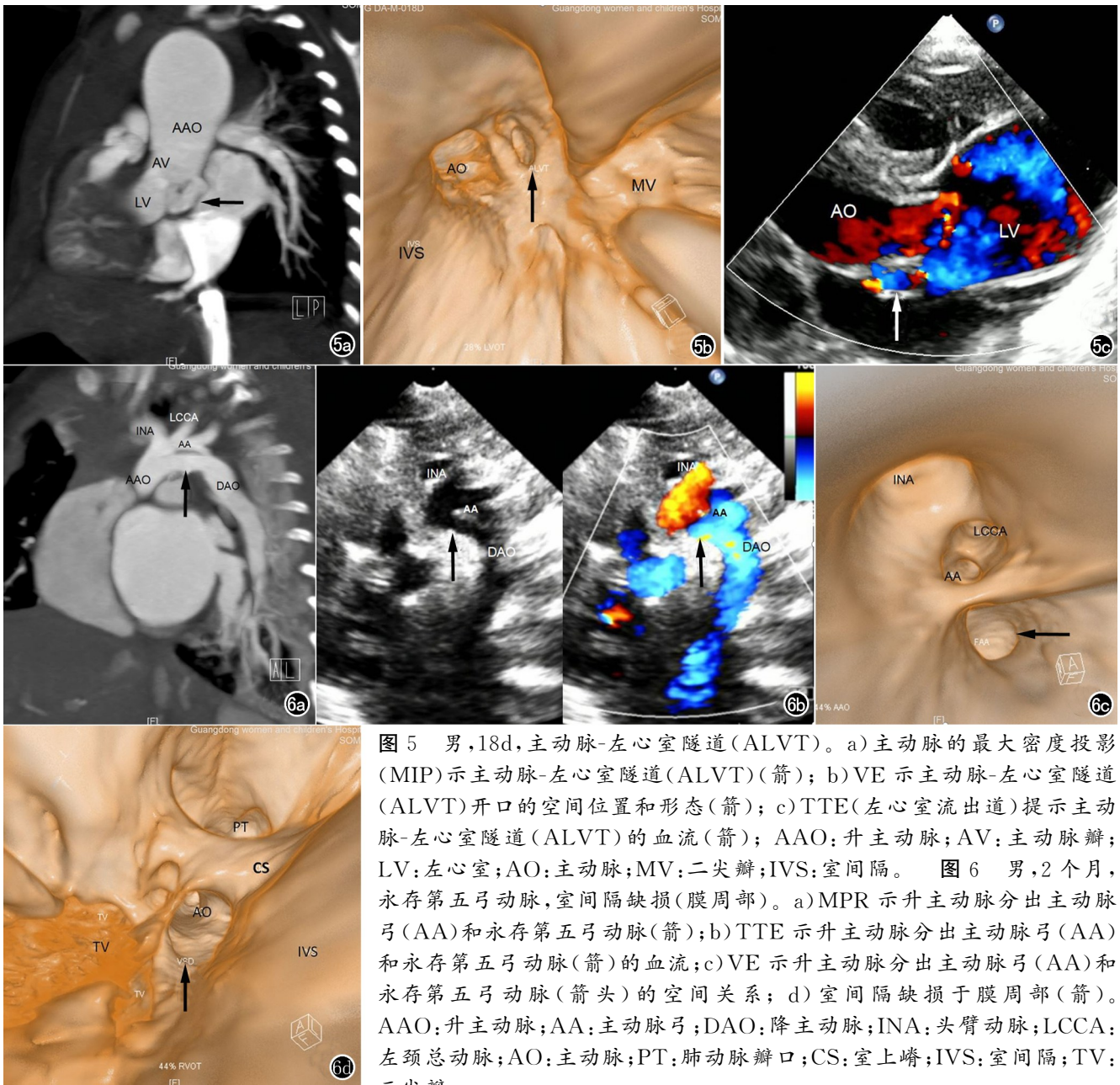


图 5 男,18d,主动脉-左心室隧道(ALVT)。a)主动脉的最大密度投影(MIP)示主动脉-左心室隧道(ALVT)(箭); b)VE 示主动脉-左心室隧道(ALVT)开口的空间位置和形态(箭); c)TTE(左心室流出道)提示主动脉-左心室隧道(ALVT)的血流(箭); AAO:升主动脉; AV:主动脉瓣; LV:左心室; AO:主动脉; MV:二尖瓣; IVS:室间隔。 图 6 男,2 个月,永存第五弓动脉,室间隔缺损(膜周部)。a)MPR 示升主动脉分出主动脉弓(AA)和永存第五弓动脉(箭); b)TTE 示升主动脉分出主动脉弓(AA)和永存第五弓动脉(箭)的血流; c)VE 示升主动脉分出主动脉弓(AA)和永存第五弓动脉(箭头)的空间关系; d)室间隔缺损于膜周部(箭)。AAO:升主动脉; AA:主动脉弓; DAO:降主动脉; INA:头臂动脉; LCCA:左颈总动脉; AO:主动脉; PT:肺动脉瓣口; CS:室上嵴; IVS:室间隔; TV:三尖瓣。

(图 8),冠状动脉开口异常 3 例;迷走血管 4 例。

2. 各检查方法检出主要心脏结构异常的灵敏度及总符合率

VE 和 MPR 在室间隔缺损、右心室双出口、大动脉转位、肺动脉狭窄、冠状动脉畸形和血管环的诊断中其总符合率和灵敏度都稍高于 TTE(表 2)。VE 与 MPR 在上述畸形相比,其总符合率和灵敏度是一致的,但有较强的直观性和三维空间感,有助于外科医师的阅片和术前评估。VE 和 MPR 在卵圆孔未闭和房间

隔缺损的总符合率和灵敏度都低于 TTE,VE 在左右心房的细节显示较差。当阈值调节不当容易出现“破口”伪影,易误诊。

3. VE 图像质量评分比较

RA 与 LV、RV、LA 及大血管图像评分(表 3)存在显著性差异($P=0.000<0.01$),LA 与 RV($P=0.006<0.01$)、大血管图像评分存在显著性差异($P=0.002<0.01$)。大血管 VE 图像质量最佳,其后为 RV 及 LV,LA、RA 图像质量最差。由于左右心系统图像

表 2 各检查方法检出主要心脏结构异常的比较 %

结构异常/ 检查方法	房间隔缺损		卵圆孔未闭		室间隔缺损		右心室双出口		大动脉转位		法洛氏四联症		血管环		肺动脉狭窄		动脉导管未闭		冠状动脉畸形	
	灵敏度	总符合率	灵敏度	总符合率	灵敏度	总符合率	灵敏度	总符合率	灵敏度	总符合率	灵敏度	总符合率	灵敏度	总符合率	灵敏度	总符合率	灵敏度	总符合率	灵敏度	总符合率
VE	53.3	53.3	51.7	51.7	96.7	96.7	100	95.7	85.7	85.7	100	100	100	100	100	100	91.3	91.3	100	100
MPR	53.3	53.3	62.1	62.1	98.4	98.4	100	95.7	85.7	85.7	100	100	100	100	100	100	91.3	91.3	100	100
TTE	100	100	100	100	93.5	93.5	90.5	82.6	83.3	71.4	100	100	25.0	25.0	84.6	84.6	95.4	95.4	40	40

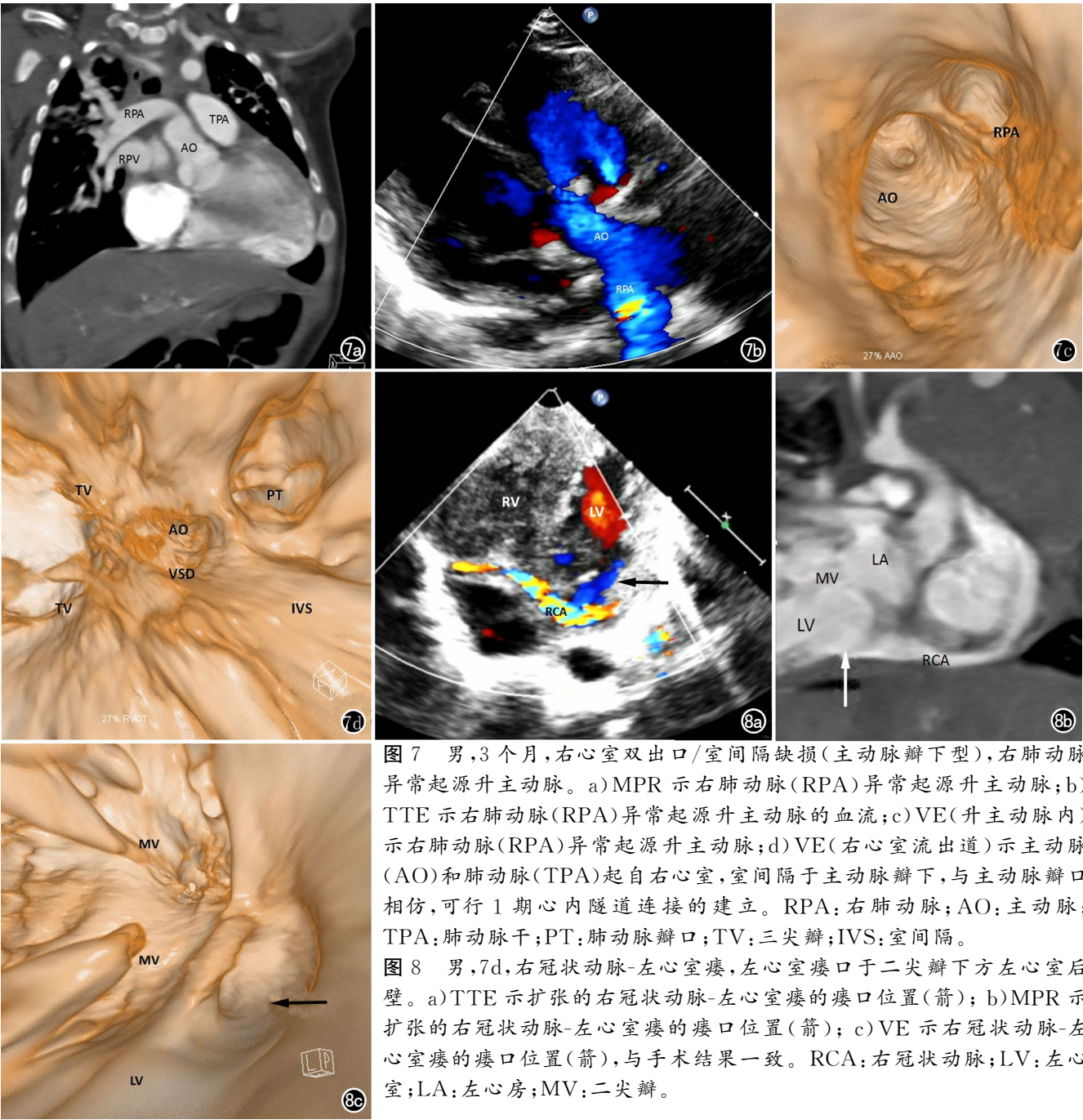


图 7 男,3 个月,右心室双出口/室间隔缺损(主动脉瓣下型),右肺动脉异常起源升主动脉。a)MPR 示右肺动脉(RPA)异常起源升主动脉;b)TTE 示右肺动脉(RPA)异常起源升主动脉的血流;c)VE(升主动脉内)示右肺动脉(RPA)异常起源升主动脉;d)VE(右心室流出道)示主动脉(AO)和肺动脉(TPA)起自右心室,室间隔于主动脉瓣下,与主动脉瓣口相仿,可行 1 期心内隧道连接的建立。RPA:右肺动脉;AO:主动脉;TPA:肺动脉干;PT:肺动脉瓣口;TV:三尖瓣;IVS:室间隔。

图 8 男,7d,右冠状动脉-左心室瘘,左心室瘘口于二尖瓣下方左心室后壁。a)TTE 示扩张的右冠状动脉-左心室瘘的瘘口位置(箭);b)MPR 示扩张的右冠状动脉-左心室瘘的瘘口位置(箭);c)VE 示右冠状动脉-左心室瘘的瘘口位置(箭),与手术结果一致。RCA:右冠状动脉;LV:左心室;LA:左心房;MV:二尖瓣。

质量存在差异,因此在 VE 飞行路径规划时必须应该将左右心系统分别建立,使用合适阈值范围重建图像,有利于病灶检出。

表 3 VE 图像质量评分

解剖部位	图像评分				
	5 分	4 分	3 分	2 分	1 分
LV	41	22	4	0	0
RV	41	25	1	0	0
LA	35	20	12	0	0
RA	7	33	26	1	0
大血管	51	15	1	0	0
合计	175	115	44	1	0

讨论

1. CTVE 的研究背景

VE 是一种计算机虚拟现实技术,通过当前医学成像设备获取原始解剖数据,利用一系列图像处理技术实现可视化,构建出类似纤维内镜观察效果的三维图像,从而实现完全无接触、无创的临床辅助检查。目前该技术已成功应用于气道、消化道、中耳、胆道和血管等检查中^[1-3],评价儿童先天性心脏病(CHD)的研究仍然较少。三维超声心动图仿真内镜技术较早应用于临床,其局限性在于成像过程中患者的呼吸和移位可明显影响图像质量,而且婴幼儿 CHD 存在心率快

和呼吸促的特点,更易造成图像重组错位而影响计测结果。另外,受超声图像采样像素的限制,超声虚拟内镜图像分辨率较低,心内解剖结构显示精确度不如 CT 和 MRI,控制试点前进和穿越缺损区存在失真现象,仍未实现大血管内漫游^[4-6]。

近年随着前瞻性心电门控、低管电压和迭代重建等新技术应用,MSCT 的扫描辐射剂量已大幅下降,成为婴幼儿 CHD 的常规检查方法。128 层螺旋 CT 的重组层厚 0.6 mm,重组间隔 0.35 mm,可获得 Z 轴高空间分辨力图像,利用扫描数据的各向同性采用多种后处理方法可准确、多方位地显示心脏各节段^[7]。但传统 MPR 技术仅从二维角度显示心内结构,不能满足复杂 CHD 精确诊断的要求,有必要应用三维技术作为补充。心脏 3D 打印技术是较好的解决手段,但成本高昂,不利于基层推广。而基于 CT 的 VE 成像通过对心脏图像数据的可视化重建后沿虚拟的内部空腔做飞行观察,能够更好显示 CHD 大血管及心内异常结构空间位置关系及立体形态,对手术方案的合理设计有重要意义^[8,9]。

2. CTVE 的飞行路径规划的建立

心脏虚拟仿真内镜中心腔内定位和观察方向决定外科医师的观察术野,影响临床的诊断和手术治疗规划。但由于虚拟仿真内镜的心脏解剖细节缺乏认识很容易使观察者失去方向感。因此,建立一套合理的心脏虚拟仿真内镜的飞行路径规划有利于解决空间定向障碍的问题。

由于左右心腔和大血管的对比剂浓度差异,静脉回流对右心房的影响,心脏异常结构产生的涡流伪影等因素对图像质量的影响。本研究的 VE 图像质量评分比较中大血管 VE 图像质量最佳,其后为 RV 及 LV,LA,RA 图像质量最差。由于左右心系统图像质量存在差异,因此在 VE 飞行路径规划时必须将左右心系统分别建立。在心房、心室和大血管分别建立观察点,手动使用合适阈值范围重建 VE 图像有利于病灶检出。CTVE 的飞行观察路线则按 Van Praagh 节段分析法,重点观察心房、心室、大动脉、房室连接和大动脉-心室连接。本文采用的 CTVE 漫游路径规划的原则与文献报道基本一致^[8]。

3. CTVE 的临床应用价值

近年来,婴幼儿心脏外科技术的快速发展是基于新生儿期危重先天性心脏病急症、亚急症外科手术概念的推广。以往认为不能手术治疗的复杂 CHD 都可通过婴幼儿心脏直视手术来获得根治或减状手术治疗^[10]。手术的成功与否不仅取决术前通过影像方法对复杂 CHD 的准确诊断,更需要对复杂 CHD 异常结构的三维空间位置关系有精确的认识。然而,传统二

维检查方法如 2D-TTE 和 MSCT 的 MPR 技术并不能满足复杂 CHD 三维空间精确诊断的要求^[11]。如右心室双出口无合并肺动脉狭窄者为防止肺动脉高压影响预后,多主张在婴幼儿早期行根治术,手术方式选择主要取决于三因素即两大动脉的位置关系、室间隔缺损与大动脉的位置关系和肺动脉口是否狭窄。右心室双出口根治术多采用心内隧道补片连接 VSD 与主动脉。判断室间隔缺损与大动脉距离和主动脉瓣环内径比较是决定心内隧道连接建立的难易度^[12]。但室间隔缺损和主动脉瓣环在解剖空间上存在一定角度,用 2D-TTE 和 MSCT-MPR 都难以在二维平面精确显示。但是,CTVE 可立体显示这一特殊的解剖关系和主-肺动脉的空间位置关系。另外,术前明确室间隔缺损的大小、形态,才能准确裁剪合适的补片,避免心内隧道大小不当所致心室流出道梗阻或残余分流等术后问题,以减少低心排量综合征的发生。此外,2D-TTE 和 MSCT-MPR 都无法显示室间隔的完整形态且两者的测量 VSD 内径与术中经右心室面测量 VSD 的最大径存在低估现象^[13]。

本研究结果显示 VE 在显示心脏复杂解剖结构和解剖空间关系上相较 TTE 具备一定优势,尤其对圆锥动脉干畸形中大动脉空间位置以及冠状动脉畸形的显示能力更出色,有助于手术的合理设计。但 VE 和 MPR 诊断房间隔缺损、卵圆孔未闭的总符合率和灵敏度都低于 TTE,可能与 VE 在左、右心房的细节显示较差有关,高浓度对比剂在右心房由于涡流导致心房内密度的不均匀性,当阈值调节不当容易出现“破口”伪影;其次 VE 对卵圆孔瓣和半月瓣的细节显示不足,在缺乏 TTE 的动态观察而出现较高的误漏诊。选择合适的静脉注射方案和 CT 触发扫描时间有助于减少伪影的产生,同时结合 TTE 可提高诊断的准确性。

因此,笔者认为 CTVE 具有更直观观察心脏内复杂解剖结构和更好地描绘解剖空间关系的能力,优于二维断层成像方法(MPR 和 TTE)。有助于可视化手术方案的合理设计,提高虚拟手术教学和改善医患术前交流的能力^[14]。

4. 本研究的局限性

由于工作站软件的配置不足,本研究未能实现 CTVE 对病变的定量测量。另外,运用回顾性心电门控与低剂量 CT 扫描技术相结合实现动态的心脏仿真内镜重建技术,使观察者会有更真实的动态体验,但本研究的设备要实现 4D 动态的 CTVE 重建方法较复杂和耗时,同时要考虑婴幼儿的 CT 辐射剂量问题,本研究没有推广。但随着未来 CT 采用更低剂量、更快的创新扫描方案,实现 4D 动态的 CTVE 重建方法将是今后的研究方向。

综上所述,利用 128 层 MSCT 的虚拟仿真三维技术对婴幼儿的先天性心脏病中大动脉及心内异常结构空间位置关系和立体形态可以作出精确判断,对手术方案的合理设计,提高虚拟手术教学和改善医患术前交流的能力有重要意义。

参考文献:

- [1] 王永坤,朱江帆.虚拟内镜技术在消化系统疾病诊断中的应用[J].中国微创外科杂志,2010,10(3):278-280.
- [2] Peter M.A.van Ooijen,Gonda de Jonge,Matthijs Oudkerk,et al. Coronary fly-through or virtual angiography using dual-source MDCT data[J].Eur Radiol,2007,17(11):2852-2859.
- [3] 杨智云,刘春玲,周旭辉,等.CT 中耳仿真内窥镜成像对中耳结构空间解剖关系的显示价值[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(26):5194-5200.
- [4] Haihong Xue,Kun Sun,Jianguo Yu,et al.Three-dimensional echocardiographic virtual endoscopy for the diagnosis of congenital heart disease in children[J].Int J Cardiovasc Imaging,2010,26(8):851-859.
- [5] Akhil Narang,Niklas Hitschrich,Victor Mor-Avi,et al.Virtual reality analysis of three-dimensional echocardiographic and cardiac computed tomographic data sets [J].J Am Soc Echocardiogr,2020,33(11):1306-1315.
- [6] 薛海虹,方慧敏,钟一民,等.心脏三维超声虚拟内窥镜系统导航与介入方法研究[J].中国医学影像技术,2007,23(10):1569-1571.
- [7] 刘永熙,陈文俊,陈丹,等.128 层螺旋 CT 在完全性大动脉转位的应用[J].放射学实践,2014,29(7):786-800.
- [8] Li-Ping Yao,Ju Mei,Fang-Bao Ding,et al.Application of cardiovascular virtual endoscopy:a pilot study on roaming path planning for diagnosis of congenital heart diseases in children[J].Scientific Reports,2018,8(1):1424.
- [9] Li-Ping Yao,Li Zhang,Ju Mei,et al.A pilot study of a cardiovascular virtual endoscopy system based on multi-detector computed tomography in diagnosing tetralogy of Fallot in pediatric patients [J].Exp Ther Med,2018,15(2):1552-1559.
- [10] 董念国,史嘉玮.婴幼儿先天性心脏病外科治疗现状和进展[J].临床心血管病杂志,2010,26(8):561-562.
- [11] Abdulla R.The three-dimensional heart [J].Pediatr Cardiol,2000,21(5):409.
- [12] 逢坤静,孟红,王浩,等.先天性右心室双出口的心分型方法及其对术式选择的指导作用[J].中华心血管病杂志,2015,43(11):969-974.
- [13] 陈国珍,孙锬,陈树宝,等.圆锥动脉干畸形室间隔缺损的三维超声定量研究[J].中国实用儿科杂志,2005,20(7):431-432.
- [14] Loren D Sacks,David M Axelrod.Virtual reality in pediatric cardiology:hype or hope for the future? [J].Curr Opin Cardiol,2020,35(1):37-41.

(收稿日期:2021-03-08 修回日期:2021-08-24)