

综述

完全型肺静脉异位引流的DSCT诊断价值及研究进展*

蒋丽 杨志刚 李媛*

四川大学华西医院放射科

(四川成都 610041)

【摘要】完全型肺静脉异位引流(TAPVC)指全部肺静脉未正常回流至左心房的一类左向右分流型先天性心脏病,约占新生儿先心病发病率的1%-3%,其多变的解剖类型及肺静脉狭窄程度直接影响病人的临床症状、外科修复方式及预后。双源CT(DSCT)因时间及空间分辨率高、明显减低的辐射剂量及强大的后处理功能,能对TAPVC患者异位肺静脉起源、走行路径、连接位置、血管床状态、其他伴发畸形及心腔大小进行详细评估,成为TAPVC术前、术后随访必要的无创性检查。本文现就TAPVC的发生发展、病理生理学改变及在DSCT检查中的影像特征、价值及研究进展做一简要综述。

【关键词】完全型肺静脉异位引流;双源CT;解剖结构;肺静脉;诊断价值

【中图分类号】R44

【文献标识码】A

【基金项目】四川省科技计划项目(2020YJ0229);四川大学华西医院学科卓越发展1·3·5工程项目(ZYGD18013)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.08.056

The Diagnostic Value and Research Advance of DSCT Imaging in Total Anomalous Pulmonary Venous Connection*

JIANG Li, YANG Zhi-Gang, LI Yuan*

Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan Province, China

ABSTRACT

Total anomalous pulmonary venous connection (TAPVC) is a rare congenital heart disease that pulmonary veins drain into a systemic vein or the right atrium rather than the left atrium, occurring in only 1% to 3% of children born with congenital heart defects. There is a wide anatomical variety of venous connections and degrees of pulmonary venous obstruction that affect the clinical symptoms, surgical repair methods and prognosis of patients. Featuring high spatial and temporal resolution, dramatic decrease in radiation dose, excellent image quality, and powerful image post-processing, dual-source computed tomography (DSCT) can evaluate the origin, route, drainage sites, vascular bed status, and other associated malformations of anomalous pulmonary veins and cardiac chamber size in patients with TAPVC in detail, and has been widely used as an essential noninvasive preoperative and postoperative examination in TAPVC patients. In this paper, we review the occurrence and development, pathophysiological changes, imaging characteristics, value and research advance of TAPVC in DSCT.

Keywords: Total Anomalous Pulmonary Venous Connection; Dual-source Computed Tomography; Anatomical Structure; Pulmonary Venous; Diagnostic Value

完全型肺静脉异位引流(total anomalous pulmonary venous connection, TAPVC)指全部肺静脉未正常回流至左心房的一类左向右分流型先天性心脏病,约占新生儿先心病发病率的1%-3%,是患儿早期缺血、缺氧的先天性心脏病之一,常见临床症状包括紫绀、呼吸窘迫、生长迟缓、心率失常等^[1-2]。TAPVC病人的临床症状、自然病史、治疗方案及预后主要取决于异常肺静脉类型、血管床的状态及合并其他心血管畸形^[2-5],因此术前详细的影像学评价能够帮助临床医生实现更好的治疗评估及预后评价。双源CT(dual-source computed tomography, DSCT)以其成像速度快、空间分辨率高及低剂量等优势成为TAPVC术前、术后必要的无创性检查手段^[6-7],本文将对TAPVC的发生发展、病理生理学改变、影像检查方式及在DSCT检查中的影像表现特征、价值及研究进展做一综述。

1 胚胎发育

在胚胎发育时期,原始肺组织通过血管丛与心脏相连,随着血管的进一步发育,肺静脉原基发育形成的原始内脏血管丛与同侧的总主静脉及卵黄囊静脉系统相连^[8-9],同时肺血管床逐渐形成共同肺静脉与原始心房融合,因此,在一个较短的时期里,肺血管同时存在两个引流系统,分别为通过共同肺静脉与左心房相连和通过同侧的主静脉及卵黄囊静脉系统与体循环相连。大约3-5孕周,共同肺静脉进一步发育成为左心房的一部分,同时连接到总主静脉及卵黄囊静脉系统的静脉丛逐渐退化,把肺静脉系统和体静脉系统分开。在某些异常情况下,共同肺静脉早期闭锁或者不与左心房融合,致使主静脉及卵黄囊静脉引流系统代偿性持续开放,则形成临床上的肺静脉异位引流^[9-10]。如原始内脏血管丛与左侧主静脉持续连接,则肺静脉引流至冠状静脉窦及左无名静脉;如与右侧主静脉持续连接,则肺静脉引流至右上腔静脉或者右心房;如与静脉脐黄系统持续连接,则肺静脉引流至门静脉、静脉导管或下腔静脉。罕见地可出现共同肺静脉迟发性闭锁,肺静脉末端呈一个盲端,这类型的先心病的预后非常差,很少病人能够存活^[11-9]。

2 病理生理学特征

正常情况下,肺静脉于左心房后壁汇入左心房,肺静脉内氧合后的动脉血经左心房、左心室,最后由主动脉泵向全身血管,提供人体所需。但对于TAPVC病人,肺静脉与右心系统异位连接,左心房无回血流入,左心系统缺少必要的血流来源,因此,同时合并右向左分流畸形(如房间隔缺损、室间隔缺损及卵圆孔未闭等)是TAPVC患儿出生后能够继续存活的必要条件^[11-12]。TAPVC病人异位肺静脉术前血管状态不同,其临床症状、血流动力学改变及预后明显不同,因此临床根据是否存在肺静脉的梗阻将TAPVC分为梗阻型TAPVC和非梗阻型TAPVC^[13]。

2.1 梗阻型TAPVC 如果某段异位静脉的管径面积小于邻近引流静脉的最大管径面积的50%,或者引流静脉直接与门静脉系统相连,临床则认为肺静脉梗阻,梗阻型TAPVC病人出生后表现为重度紫绀、明显的呼吸困难,伴或不伴有轻度心脏杂音,因此常误诊为肺部疾病^[10]。TAPVC患儿出生后随着肺的复张,肺静脉血流明显增多,如合并肺静脉血回流受阻,则仅几个小时内就出现明显的肺动脉高压及肺水肿,肺水肿引起反射性肺动脉血管收缩和气体交换障碍,导致进行性低氧血症,临床表现为不被有效的临床操作缓解的呼吸窘迫。患儿的临床症状及X光胸片表现与新生儿呼吸窘迫综合征极为相似,此时需要快速的影像学检查来鉴别心脏是否存在器质性病变,由此决定临床医生的下一步诊疗计划^[14]。

2.2 非梗阻型TAPVC 极少部分非梗阻型TAPVC病人可以无症状地活到成年,大部分在出生后或幼儿时期即出现临床症状而就诊^[1]。在非梗阻型TAPVC病人胎儿时期或刚出生几个小时内,患儿肺未复张或复张不全,肺静脉回流血流量较小,且此时卵圆孔仍开放,因此右心血流量增加不大,患儿的症状较轻,但随着肺组织充气复张,肺血管的阻力明显下降,肺血流增多,

【第一作者】蒋丽,女,助理研究员,主要研究方向:心脏大血管影像。Email: jianglifl@163.com

【通讯作者】李媛,女,副教授,主要研究方向:胸部影像。Email: dr.liyuan@163.com

如肺静脉回流未受阻,则患儿表现为肺循环及右心系统明显过载的一系列临床症状。如果患儿心脏在自身调节后达到稳定,则病人可以在较好的生活质量下带病生存到成年;但是负荷超过病人的自身代偿能力,则心脏和肺功能迅速恶化,对于放弃手术或者由于明显的肺动脉高压而失去手术指针的病人,最终病人死于呼吸衰竭或者心力衰竭^[4]。

3 TAPVC治疗

毫无疑问,外科手术矫正作为先天性心脏病的唯一治愈手段,尤其是对TAPVC病人,一旦确诊,即有手术指征^[14]。随着医学检查治疗技术的进步,TAPVC的手术治疗效果已经大大提高了生存率及术后生存质量,相关文献报道TAPVC的总体死亡率明显降低,但TAPVC新生儿的手术死亡率在近几十年却没有明显降低,Yong等的研究发现,在连续的三个时期(1973~1988年,1989~1998年和1999~2008年)TAPVC的手术死亡率分别是10.5%、9.8%及12.1%^[15],造成手术死亡率居高不下的主要原因解释为更多的危重TAPVC选择了手术治疗,而危重的病人占了术中或术后死亡的绝大部分。

术前外科医生依据TAPVC病人的个体解剖畸形制定手术方案,主要解剖结构包括异位肺静脉起源、走行路径、连接位置、血管床状态及其他伴发的畸形,常规手术方案为,在体外循环建立后(心肺转流术),利用深低体温及低血流流速以及必要时的中等体温、正常或高流速来将异常的肺静脉截断并与左心房吻合^[16]。由于术前肺静脉狭窄或者发育不良,具有极高的术后再狭窄的风险,因此术前诊断引流肺静脉狭窄或者发育不良时,则需要切除病理学性狭窄的肺静脉,将正常肺静脉与左心房相连^[17]。研究证实,在进行新生儿的矫正手术时,无缝合操作比传统的缝合操作发生再发狭窄的风险更低。在某些引流肺静脉严重狭窄的情况下,如病人状态不允许即刻的手术治疗,可以利用介入治疗来缓解肺静脉狭窄引起的临床状态,给进一步手术提供临床间歇期^[17-18]。

多个随访研究发现,复杂的术前解剖形态(混合型及心下型TAPVC、术前肺静脉狭窄)、较长的术中心肺转流术时间及术后通气时间是患者术后死亡的风险因素,尤其是术前的肺静脉发育不良或重度狭窄^[3]。TAPVC患者术后再发肺静脉狭窄也是死亡高危因素,发病率约为15%,术后狭窄的机制包括血管内膜增生、肺静脉本身存在的发育不良及手术对梗阻缓解不充分^[3,19]。组织学的研究认为肺静脉狭窄和成纤维细胞增生有关,如果吻合口的成纤维细胞明显增生,肺静脉狭窄会快速进展,大多数病人会在术后的6到12个月发生^[20]。对于再发狭窄的风险因素包括混合型及心下型TAPVC、术中心肺转流术及主动脉钳闭时间较长、内脏反位、单心室、小左心房、急诊手术及额外增加的外科操作^[21]。

4 影像学检查

TAPVC作为以心血管解剖异常为病因的一类先天性心脏病,其临床表现、自然病史及预后主要取决于肺静脉引流的位置、肺血管床的状态及合并的其他心血管畸形^[5,7],因此需要详细、准确的术前影像学评价来帮助外科医生评估病情、优化手术方案,进一步降低死亡率、提高术后生存质量,临床常见的先天性心脏病的检查方式包括心导管检查、超声、CT及磁共振等^[22]。

4.1 心导管 对于TAPVC病人,心导管可以同时作为影像检查手段及外科介入治疗方式。心导管检查曾作为先天性心脏病的诊断金标准运用于临床,但由于其费用高、射线剂量大及相关的导管麻醉风险,且在TAPVC病人中,导管损伤相关的医源性肺静脉狭窄的风险不可忽视^[23-24],因此如今心导管很少仅仅作为检查手段运用于临床。一般来说,对于急性梗阻型TAPVC的患儿,单纯的非手术治疗无法缓解患儿症状时需要急诊手术阻止病情恶化,但在某些情况下,如低体重患儿、早产儿、多器官紊乱及多伴发的畸形的患者,开胸急诊外科手术的死亡率较高,或者在某些条件下无法实施开胸急诊手术,此时,经皮导管支架植入术可以快速矫正肺静脉的狭窄,缓解临床症状,为梗阻型TAPVC病人外科手术前的提供一个过渡期,稳定危重病人的临床状态,等待病人情况稳定后再行开胸矫正手术^[25],波士顿儿童医院的研究显示47例支架植入术后病人,32例病人的右心室压力及狭窄肺静脉的管径明显改善^[26]。导管介入手术的主要途径是用于TAPVC缓解术前、术后肺静脉狭窄,方式包括传统的球囊扩张术、切割球囊成形术以及药物洗脱支架和裸金属支架置换术,由于某些严重狭窄的肺静脉频繁出现再狭窄,所以需要多次重复干预,此类病人的预后差^[27]。据报道,支架术后一年超过50%的病例发生支架再发狭窄,即使使用药物洗脱支架也并没有明显改善再狭窄的速率,其发生的速率和术前狭窄肺静脉的管径相关,如果支架植入前狭窄的管径小于7mm,则

支架植入后发生支架内再狭窄或闭塞的时间更短^[1]。

虽然经导管介入手术常规作为病人术前狭窄引流静脉的急诊治疗措施及术后再狭窄的缓解措施,但是其治疗后存在的并发症不容忽视,大约25%的球囊扩张术后病人存在不良反应,其中最常见不良反应包括导管相关的室上性心动过速、肺静脉撕裂及动脉瘤形成、再灌注水肿或出血、短暂型完全性传导阻滞,也有一小部分报道支架内栓塞^[28-29]。

4.2 超声 因具有非侵入性、无辐射及方便实用等优势,心脏超声检查广泛运用于TAPVC的检查诊断,并作为先天性心脏病的筛查方式,联合彩色多普勒及频谱多普勒检查技术,心脏超声能够对异位引流肺静脉的数量、连接位置、走行路径、管径大小、是否狭窄、伴发的其他心内畸形及血流动力学改变进行评价^[7,30]。同时地,超声检查可以测量心腔大小、容积及心脏搏动情况,评价右心室容积、压力及功能,根据评价结果决定患者是否需要急诊手术。某些情况,如新生儿出生后出现严重的呼吸窘迫,这时一个紧急快速的超声检查筛查患儿是否存在心脏的器质性改变,辅助新生儿科医生查找呼吸窘迫病因,制定相应的治疗措施。但是,对于这部分急诊患儿,时常由于肺水肿的存在导致检查声窗缩小,这时传统的检查路径已经无法显示心脏部分结构,这时多方位显像(如经剑突下的长轴及短轴显像)可以帮助超声科医生快速判断是否存在心脏病变,但是如果超声检查仍然无法排除心脏病变,此时需要急诊CT来明确心脏病变的可能^[1]。

超声检查作为先天性心脏病的筛查方式,对肺静脉的异位引流位置、静脉走行、是否伴有狭窄及伴发的心内畸形的诊断率超过90%,术前经食管超声心动图则有更高的诊断准确性。但超声检查的空间分辨率较低,受声窗及操作者技术的限制,对于复杂型的TAPVC病人(例如异常肺静脉在肺组织内相交通,或肺静脉扭曲成团、细小,或肺静脉远离胸壁)的肺静脉的路径、引流部位显示不清,且无法评估心脏周围的组织结构,因此无法满足外科医生的术前影像学评价的要求^[23-24]。除术前及术后常规使用的经胸壁心脏超声,另一种特殊的超声检查手段——经食管超声,主要在手术操作过程中作为一个常规检查存在,它实时动态地检查心脏的解剖结构改变及生理学指标,主要用来评价术中吻合口是否狭窄及血流动力学是否稳定,同时,心外膜的结构显像可用于确定肺静脉吻合口位置是否合适,手术医生根据术中食管超声的检查结果确定手术是否成功^[31]。

4.3 心脏磁共振 自20世纪70年代,磁共振成像技术迅速发展并不断完善,MRI的多参数、多方位、多序列成像、无射线辐射等优势使其在心血管领域具有广阔的发展空间,尤其是在组织特征性识别上具有独特的优势,但由于其检查费用高、空间分辨率低、存在造影剂过敏及某些重症患者无法承受长时间扫描等因素而使用受限,因此像TAPVC这类以解剖异常为主的心脏病,临床上很少将心脏磁共振作为TAPVC病人术前的常规检查,常作为心肌病的检查方式^[7]。

4.4 DSCT 随着CT技术的进一步发展,使得DSCT能够在明显提高空间及时间分辨率的基础上大大降低放射剂量,克服了其他检查的某些局限性,因此成为先天性心脏病术前必不可少的检查^[32-34]。DSCT强大的后处理功能,如多平面重建、最大密度投影、容积再现、表面遮蔽显示及仿真内窥镜等,可以对图像进行任何平面、多个方位、多个角度重建显示及分析。多个研究显示,以手术及尸检结果作为参考标准,DSCT对TAPVC引流肺静脉的路径、引流位置的诊断准确率高于超声检查,尤其是一些复杂的TAPVC类型^[35-36]。

4.4.1 不同类型TAPVC的影像特征 根据肺静脉异位引流的解剖位置将TAPVC分为4个类型:心上型,是最常见的类型,约占44%,指肺静脉异位引流到心上静脉系统,包括上腔静脉、头臂静脉、残存的左上腔静脉或奇静脉;心内型,是指肺静脉异位引流到右心房或冠状窦;心下型,指肺静脉引流至门静脉或下腔静脉,是最常出现梗阻的类型,梗阻率可达85%^[32,21];混合型,包括合并上述两种或两种以上的畸形^[1]。

DSCT显示大多数心上型TAPVC的走行路径为:四支肺静脉在左心房后方汇合成一粗大的垂直静脉,垂直静脉于左侧肺动脉干旁上升并汇入扩张的左头臂静脉,然后通过扩张的上腔静脉汇入右心房^[37]。某些不典型TAPVC,其肺静脉位置较深远离前胸壁或者静脉管径较小、走行扭曲,DSCT联合曲面重建可以确切显示肺静脉的引流路径及位置,采用容积再现还能够三维立体展示肺静脉与邻近组织结构的关系,包括纵膈乃至肺野内的血管,辅助外科医生优化手术方案,减少邻近组织结构的损伤^[10,29]。

弯刀综合征是肺静脉异位引流的一种特殊形式,指一侧侧的肺静脉(通常为右肺)在膈上或膈下引流至下腔静脉,在胸部正侧摄影中异常的肺静脉显示为新月形的形状,因此而命名为弯刀综合征,此类型的TAPVC在平片上的征像需要和罕见的“肺静脉扭曲”相鉴别。

别,“肺静脉扭曲”除新月形征像外,还包括CT显示的血管走行扭曲且最终汇入左心房等解剖征像。DSCT显示大部分弯刀综合征的患者伴有相应肺动脉及肺组织的发育不良,肺体积缩小,所以弯刀综合征也叫肺发育不全综合征,同时,该病可同时伴有主动脉发出的异常动脉供应右肺组织,表现为肺隔离症^[38-39]。

4.4.2 肺静脉狭窄 TAPVC病人中,术前肺静脉狭窄率可高达25%~50%,其中44%来源于心下型TAPVC^[1,4]。一般来说,肺静脉走行路径越长,狭窄发生的机率越大,DSCT表现为整段肺静脉的狭窄或者沿着肺静脉走行散在的狭窄病灶,可以出现在纵膈、肺野或膈肌下走行的肺静脉的任何位置^[9,40]。Shen等的研究显示,与手术结果相比,CT显示肺静脉梗阻准确性可高达92%,如果DSCT显示术前肺静脉狭窄或者发育不良,则提示极高的术后再发狭窄风险,因此需要外科医生手术时切除病理性狭窄的肺静脉,并选择合适路径将剩余肺静脉与左心房相连^[11,41]。

4.4.3 TAPVC伴发畸形 TAPVC独特的解剖及血流动力学改变使其大多数情况下伴有多发的其他畸形,因此对伴发畸形的准确诊断及治疗是TAPVC手术成功的重要因素。DSCT具有较高的空间分辨率及强大的后处理能力,不仅能够准确评价TAPVC相关的静脉走行、状态及引流位置,还能准确地显示伴发心内外畸形。例如,永存左上腔静脉作为TAPVC的伴发畸形之一,单发时不引起明显病理生理变化,也无明显症状和体征,但当伴发永存左上腔静脉畸形的先天性心脏病行心外循环手术时,只有阻断这根畸形血管,心肺转流术才能成功,然而由于其位置较深,经胸壁超声经常漏诊,这时DSCT可以清晰地显示永存左上腔静脉的走行及与右心系统或左心系统的连接情况,指导外科医生手术时快速结扎血管,加快手术进程,减少手术创伤^[36]。

4.4.4 心腔大小 心腔大小是一个重要的心血管预后指标,在TAPVC中,由于左心系统由缺少正常的血流来源,因此左心房发育不良(心腔容积明显缩小、顺应性减低),相反地,右心系统同时接收了体循环和肺循环的全部血流,导致右心房的容量及压力负荷过载,右心房室增大,继发肺动脉高压及三尖瓣反流,引起心脏重塑。因此,准确测量TAPVC病人心腔大小,对治疗方案的选择、疗效及预后判断均具有十分重要的意义^[4]。目前临床上最常用超声、CT及磁共振来评估心脏大小,DSCT基于心内膜边界检测的半自动化软件,建立在三维容积扫描基础上对心脏的数据进行分析,其与超声心动图的几何假设相比,更接近心室腔的实际解剖形态,且使心肌壁的形态显示更加直观,Al-Mohaisen等证实,CT的算法比超声更加接近真实的心腔大小,和磁共振测量数据就有高度一致性,更能够表达病人的临床所处状态^[42]。

5 小结

TAPVC手术死亡率高、手术预后差,精准的术前评估是手术成功的关键。DSCT具有较高的时间及空间分辨率,结合强大的后处理技术,可以全面、准确地显示TAPVC异位肺静脉起源、走行路径、连接位置、血管床状态、其他伴发畸形及与周围组织结构关系,评价心腔大小,帮助外科医生优化手术策略、缩短手术时间、减小手术创伤,降低TAPVC病人手术死亡率,尤其是某些复杂性TAPVC。

参考文献

- [1] FILES MD, MORRAY B. Total Anomalous Pulmonary Venous Connection: Preoperative Anatomy, Physiology, Imaging, and Interventional Management of Postoperative Pulmonary Venous Obstruction [J]. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*. 2017 Jun; 21 (2): 123-131.
- [2] SEALE AN, UEMURA H, WEBBER SA, et al. Total anomalous pulmonary venous connection: morphology and outcome from an international population-based study [J]. *Circulation*. 2010; 122 (25): 2718-2726.
- [3] SHI G, ZHU Z, CHEN J, et al. Total Anomalous Pulmonary Venous Connection: The Current Management Strategies in a Pediatric Cohort of 768 Patients [J]. *Circulation*. 2017; 135 (1): 48-58.
- [4] SPIGEL ZA, EDMUNDS EE, CALDARONE CA, et al. Total anomalous pulmonary venous connection: Influence of heterotaxy and venous obstruction on outcomes [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2022; 163 (2): 387-395. e3.
- [5] SCHMIADY M, VALSANGIACOMO-BUECHEL E, HÜBLER M, et al. Significance of preoperative imaging in children with total anomalous pulmonary venous connection [J]. *Eur Heart J*. 2017; 38 (26): 2040.
- [6] 中华医学会心血管病学分会影像学组, 中国医师协会放射医师分会心血管专业, 委员会. 无创性心血管影像学技术临床适用标准中国专家共识 [J]. *中华心血管病杂志*, 2020, 48 (11): 906-921.
- [7] SACHDEVA R, VALENTE AM, ARMSTRONG AK, et al. ACC/AHA/ASE/HRS/ISACHD/SCAI/SCCT/SCMR/SOPE 2020 Appropriate Use Criteria for Multimodality Imaging During the Follow-Up Care of Patients With Congenital Heart Disease: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee and Appropriate Use Criteria Task Force, American Heart Association, American Society of Echocardiography, Heart Rhythm Society, International Society for Adult Congenital Heart Disease, Society

- for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and Society of Pediatric Echocardiography [J]. *J Am Coll Cardiol*. 2020; 75 (6): 657-703.
- [8] WEBB S, KANANI M, ANDERSON RH, et al. Development of the human pulmonary vein and its incorporation in the morphologically left atrium [J]. *Cardiol Young*. 2001; 11 (6): 632-642.
- [9] DOUGLAS YL, JONGBLOED MR, DERUITER MC, et al. Normal and abnormal development of pulmonary veins: state of the art and correlation with clinical entities [J]. *Int J Cardiol*. 2011; 147 (1): 13-24.
- [10] DOUGLAS YL, JONGBLOED MR, GITTENBERGER-DE GROOT AC, et al. Histology of vascular myocardial wall of left atrial body after pulmonary venous incorporation [J]. *Am J Cardiol*. 2006; 97 (5): 662-670.
- [11] SHEN Q, PA M, HU X, et al. Role of plain radiography and CT angiography in the evaluation of obstructed total anomalous pulmonary venous connection [J]. *Pediatr Radiol*. 2013; 43 (7): 827-835.
- [12] VASQUEZ CHOY AL, ADEBO DA, JOHN S, et al. Essential role of cardiac computed tomography for surgical decision making in children with total anomalous pulmonary venous connection and single ventricle [J]. *J Card Surg*. 2022; 37 (6): 1544-1549.
- [13] CHEN L, QIU Z, XU F, et al. Clinical Nomogram for Predicting the Prognosis of Patients With Pulmonary Venous Obstruction After Total Anomalous Pulmonary Venous Connection Repair [J]. *Front Cardiovasc Med*. 2022; 9: 733253.
- [14] 温林林, 杨仕海, 陶曙光, 等. 1岁以内完全性肺静脉异位引流外科治疗86例疗效分析 [J]. *心肺血管病杂志*, 2016, 35 (10): 825-828.
- [15] YONG MS, D'UDEKEM Y, ROBERTSON T, et al. Outcomes of surgery for simple total anomalous pulmonary venous drainage in neonates [J]. *Ann Thorac Surg*. 2011; 91 (6): 1921-1927.
- [16] 朱雄凯, 俞建根, 马良龙, 等. 完全性肺静脉异位引流的解剖变异及外科处理 [J]. *中华医学杂志*, 2011 (30): 2099-2102.
- [17] THANH DQ, GIAU HTN, HUONG TNG, et al. Sutureless Closure Versus Conventional Technique in the Primary Surgery of Total Anomalous Pulmonary Venous Connection: A Systematic Review and Meta-analysis [J]. *Pediatr Cardiol*. 2022; 43 (5): 943-951.
- [18] YOSHIMURA N, FUKAHARA K, YAMASHITA A, et al. Current topics in surgery for isolated total anomalous pulmonary venous connection [J]. *Surg Today*. 2014; 44 (12): 2221-2226.
- [19] KANTER KR. Surgical repair of total anomalous pulmonary venous connection [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2006; 18 (1): 40-44.
- [20] RIEDLINGER WF, JURASZEK AL, JENKINS KJ, et al. Pulmonary vein stenosis: expression of receptor tyrosine kinases by lesional cells [J]. *Cardiovasc Pathol*. 2006; 15 (2): 91-99.
- [21] KARAMLLOU T, GUROFSKY R, AL SUKHNI E, et al. Factors associated with mortality and reoperation in 377 children with total anomalous pulmonary venous connection [J]. *Circulation*. 2007; 115 (12): 1591-1598.
- [22] DILLMAN JR, YARRAM SG, HERNANDEZ RJ. Imaging of pulmonary venous developmental anomalies [J]. *AJR Am J Roentgenol*. 2009; 192 (5): 1272-1285.
- [23] SHI K, YANG ZG, XU HY, et al. Dual-source computed tomography for evaluating pulmonary artery in pediatric patients with cyanotic congenital heart disease: Comparison with transthoracic echocardiography [J]. *Eur J Radiol*. 2016; 85 (1): 187-192.
- [24] LATSON LA, PRIETO LR. Congenital and acquired pulmonary vein stenosis [J]. *Circulation*. 2007; 115 (1): 103-108.
- [25] LIM WK, LEONG MC, SAMION H. Stenting of vertical vein in an infant with obstructed supracardiac total anomalous pulmonary venous drainage [J]. *Ann Pediatr Cardiol*. 2016; 9 (2): 183-185.
- [26] KELLE AM, BACKER CL, GOSSETT JG, et al. Total anomalous pulmonary venous connection: results of surgical repair of 100 patients at a single institution [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2010; 139 (6): 1387-1394. e3.
- [27] PENG LF, LOCK JE, NUGENT AW, et al. Comparison of conventional and cutting balloon angioplasty for congenital and postoperative pulmonary vein stenosis in infants and young children [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2010; 75 (7): 1084-1090.
- [28] BALASUBRAMANIAN S, MARSHALL AC, GAUVREAU K, et al. Outcomes after stent implantation for the treatment of congenital and postoperative pulmonary vein stenosis in children [J]. *Circ Cardiovasc Interv*. 2012; 5 (1): 109-117.
- [29] ESCH JJ, PORRAS D, BERGERSEN L, et al. Systemic Embolic Complications of Pulmonary Vein Angioplasty in Children [J]. *Pediatr Cardiol*. 2015; 36 (7): 1357-1362.
- [30] 董琼, 陈铁杰, 崔培培. 超声心动图在胎儿先天性心脏病筛查中的应用观察 [J]. *罕少疾病杂志*, 2020, 27 (6): 19-20.
- [31] JOSE D, BABU S, JEEVAN R, et al. Intraoperative Transesophageal Echocardiographic Diagnosis of an Unobstructed Supracardiac Total Anomalous Pulmonary Venous Connection in a Case of Single Ventricle Palliative Repair [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2021; 35 (7): 2132-2136.
- [32] 刘海峰, 刘燕. 多层螺旋CT及彩色多普勒超声检查在儿童先天性心脏病中的应用价值探讨 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2020, 18 (7): 60-62.
- [33] MATSUHISA H, OSHIMA Y, HIGUMA T, et al. Computed tomography-based surgical strategy for total anomalous pulmonary venous connection [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2020; 58 (2): 237-245.
- [34] 张俊英, 段新平, 王晓静. 心脏超声结合CTA在复杂先天性心脏病诊断中的应用 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2020, 18 (5): 106-109.
- [35] OH KH, CHOO KS, LIM SJ, et al. Multidetector CT evaluation of total anomalous pulmonary venous connections: comparison with echocardiography [J]. *Pediatr Radiol*. 2009; 39 (9): 950-954.
- [36] JIANG L, XIE LJ, YANG ZG, et al. Preoperative evaluation of anomalous pulmonary venous connection using dual-source computed tomography: Comparison with echocardiography [J]. *Eur J Radiol*. 2017; 94: 107-114.

(参考文献余下转第181页)

(校对编辑：姚丽娜)

[37] SUI R, ZI J, LI D, et al. Early and Intermediate-Term Results for the Combined Superior Approach Correction of Supracardiac Total Anomalous Pulmonary Venous Connection in Neonatal Patients [J]. *Heart Lung Circ.* 2021; 30(8): 1256-1262.

[38] CHOWDHURY UK, ANDERSON RH, SANKHYAN LK, et al. Surgical management of the scimitar syndrome [J]. *J Card Surg.* 2021; 36(10): 3770-3795.

[39] ROBLEDLO GC, YAMILE JURADO HERNÁNDEZ M, GOMEZ GONZALES A, et al. Scimitar Syndrome Associated With Arterial Pulmonary Hypertension. Report a Case and Literature Review [J]. *Curr Probl Cardiol.* 2022; 47(6): 100855.

[40] HÖRER J, NEURAY C, VOGT M, et al. What to expect after repair of total anomalous pulmonary venous connection: data from 193 patients and 2902 patient years [J]. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2013; 44(5): 800-807.

[41] EREK E, SUZAN D, AYDIN S, et al. Incidence and treatment of pulmonary vein stenosis after repair of total anomalous pulmonary venous connection [J]. *Türk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg.* 2019; 27(4): 471-477.

[42] AL-MOHAISSEN MA, KAZMI MH, CHAN KL, et al. Validation of two-dimensional methods for left atrial volume measurement: a comparison of echocardiography with cardiac computed tomography [J]. *Echocardiography.* 2013; 30(10): 1135-1142.

(收稿日期: 2022-06-07)
(校对编辑: 姚丽娜)

(校对编辑：姚丽娜)