

重点选题“小儿心脏介入”·专题专栏

# 球囊主动脉瓣成形术在儿童先天性主动脉瓣狭窄治疗中的应用

蒲星玥 易岂建\*

(重庆医科大学附属儿童医院心血管科, 国家儿童健康与疾病临床医学研究中心, 儿童发育疾病研究教育部重点实验室, 结构性出生缺陷与器官修复重建重庆市重点实验室, 国家临床心血管内科重点专科, 重庆市卫生健康委儿童重要器官发育与疾病重点实验室, 重庆市 400014)



易岂建, 博士, 教授, 主任医师, 博士生导师, 英国剑桥大学 Addenbrooke's Hospital 访问学者。现任重庆医科大学附属儿童医院心血管科主任、重庆市卫生健康委员会先天性心脏病介入质控中心负责人、国家卫生健康委员会先天性心脏病介入培训基地负责人和培训导师。主要研究方向为小儿心力衰竭发病机制、先天性心脏病介入治疗、川崎病心血管损害等。小儿先天性心脏病介入治疗例数达 1 000 余例/年, 培训先天性心脏病介入诊疗技术学员 10 余名。担任教育部留学回国人员科研启动基金评审专家、教育部学位中心评审专家、国家自然科学基金生命科学部通讯评审专家、中国医药教育协会儿童用药评价专业委员会副主任委员、重庆市医学会心血管病专业委员会副主任委员、重庆市医学会儿科学分会心血管学组组长、中国医师协会儿科医师分会心血管专业委员会常务委员、中国中西医结合协会心血管病专业委员会儿童心血管专业分会常务委员、中华医学会儿科学分会心血管学组委员、中华医学会儿科学分会心血管学组先心病影像学及介入协作组副组长、中华医学会心血管病分会结构性心脏病专业学组委员、中华医学会心电生理和起搏分会小儿心律学工作委员会委员、中国医师协会心血管内科医师分会结构性心脏病专业委员会(学组)委员、亚太心脏联盟结构性心脏病分会委员等。获全国妇幼健康司、四川省政府、重庆市政府、重庆市卫生健康委员会等科学技术奖奖项。主持及参与国家自然科学基金、“十一五”国家科技支撑计划项目、重庆市科学技术委员会重点项目等多项课题。发表论文 100 余篇, 参编论著 11 部。担任《中华儿科杂志》通讯评阅人, 以及《中国实用儿科杂志》《小儿急救医学杂志》《儿科药学杂志》《重庆医科大学学报》等杂志编委。

**【提要】** 主动脉瓣狭窄多为先天性疾病, 是儿童最常见的左心室流出道阻塞疾病, 主要由主动脉瓣双瓣叶畸形引起。球囊主动脉瓣成形术(BAV)已取代外科手术成为儿童先天性主动脉瓣狭窄(CAS)初始治疗的首选方法, 具有微创、恢复快等优势。BAV 疗效显著, 能有效降低跨瓣压差, 但是长期随访中需警惕发生再狭窄及主动脉瓣关闭不全等并发症。本文结合相关文献和临床实践, 针对 BAV 的适应证、禁忌证、疗效及并发症等进行综述, 旨在为儿童 CAS 的最佳治疗策略提供参考。

**【关键词】** 先天性主动脉瓣狭窄; 球囊主动脉瓣成形术; 治疗; 儿童; 综述

**【中图分类号】** R 725.4 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 0253-4304(2025)06-0796-07

**DOI:** 10.11675/j.issn.0253-4304.2025.06.03

## Application of balloon aortic valvuloplasty in the treatment of children with congenital aortic stenosis

PU Xingyue, YI Qijian

(Department of Cardiovascular, Children's Hospital of Chongqing Medical University, National Clinical Research Center for Children's Health and Disease, Key Laboratory of Ministry of Education for Child Development Disease Research, Chongqing Key Laboratory of Structural Birth Defects and Organ repair and Reconstruction, National Key Specialty of Clinical Cardiovascular Medicine, Key Laboratory of Chongqing Health Commission of Vital Organ Development and Disease of Children, Chongqing 400014, China)

**【Abstract】** Aortic stenosis is predominantly a congenital disease and represents the most common form of left ventricular outflow tract obstruction in children, primarily caused by bicuspid aortic valve malformation. Balloon aortic

第一作者简介: 蒲星玥, 在读硕士研究生, 研究方向为儿科心血管疾病。

\*易岂建为通信作者。

valvuloplasty (BAV) has replaced surgical intervention as the preferred regimen for initial treatment for congenital aortic stenosis (CAS) in children due to its advantages such as minimally invasive and faster recovery. BAV demonstrates significant efficacy in effectively reducing transvalvular pressure gradients. However, long-term follow-up is necessary to monitor the occurrence of complications such as restenosis and aortic insufficiency. This paper reviews the indications, contraindications, efficacy, and complications of BAV based on relevant literature and clinical practice, aiming at providing references for the best treatment strategies for CAS in children.

**【Key words】** Congenital aortic stenosis, Balloon aortic valvuloplasty, Treatment, Children, Review

主动脉瓣狭窄的病因可分为先天性和后天性,在儿童中主动脉瓣狭窄主要由先天性因素所致,且其是先天性左心室流出道阻塞最常见的类型,占60%~75%<sup>[1]</sup>。先天性主动脉瓣狭窄(congenital aortic stenosis, CAS)的发病率约为0.04%<sup>[2]</sup>,常见于女性,男女比例为3:1~5:1<sup>[3]</sup>。早期CAS的治疗措施为外科手术,直到1983年,Lababidi<sup>[4]</sup>开创性地提出应用球囊主动脉瓣成形术(balloon aortic valvuloplasty, BAV)治疗CAS,由此开启了BAV治疗CAS的新纪元。与传统外科手术治疗相比,BAV具有创伤小、无明显瘢痕、治疗费用低和住院时间短等优点,逐渐取代外科手术治疗成为CAS初始治疗的首选方法<sup>[5]</sup>。本文结合相关文献及临床实践,对BAV在CAS治疗中的应用情况进行综述,以期为CAS患儿的最佳治疗策略,以及改善CAS患儿的远期预后提供参考。

## 1 CAS概述

正常主动脉瓣为三叶瓣,CAS是在胚胎发育过程中由主动脉瓣发育异常、粘连导致的瓣膜开放受限,以及左心室血液泵出受阻。引起CAS最常见的原因是主动脉瓣呈双瓣叶畸形<sup>[6]</sup>,该畸形是一种常染色体显性遗传疾病<sup>[2-3]</sup>,约占CAS所有病因的65%<sup>[7]</sup>。动脉导管未闭时,右心室能部分代偿CAS引起的左心室输出量减少,但动脉导管关闭后可能引发全身心输出量下降、严重充血性心力衰竭及代谢性酸中毒,且随着患儿年龄增长,因左心室压力过载而出现左室心肌肥厚、心肌纤维化及升主动脉扩张等,最终引发充血性心力衰竭<sup>[3]</sup>。

CAS的病理生理和临床表现取决于患儿的发病年龄、主动脉瓣狭窄严重程度及有无合并其他心脏结构异常。轻者可无症状,多以心脏杂音为首发临床表现,如病变呈进行性进展,患儿可出现左心室肥厚和心功能不全等表现,包括面色苍白、皮肤大理石花纹、低血压和呼吸困难等<sup>[8]</sup>。研究表明,约10%的年老CAS患儿在运动时会出现呼吸困难、心绞痛或

晕厥等症状,出现此类症状的患儿需要及时完善相关检测及评估。而在5~15岁年龄段,1%~10%的中重度CAS患儿可能存在猝死的风险<sup>[2]</sup>。在主动脉瓣狭窄相关检测手段中,经胸超声心动图检查作为首选的诊断方法,可以显示主动脉瓣形态,初步测量主动脉瓣瓣环直径、跨瓣压差,评估左心室有无肥厚及心功能等<sup>[5]</sup>;经导管测量的主动脉瓣跨瓣压差可作为评估主动脉瓣狭窄严重程度的可靠指标,左室造影可直观显示各瓣膜形态,准确测量瓣环直径;X线胸片在疾病后期可观察到心影丰满或增大;心电图可以提示左室扩大或肥厚、恶性心律失常等表现,均可辅助诊断主动脉瓣狭窄。

## 2 CAS的治疗

目前,CAS的治疗方式包括姑息治疗和经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)。主动脉瓣瓣环的直径随年龄增长而增加,因此,姑息治疗的目的是降低左心室压力以防止CAS患儿发生心力衰竭和危及生命的事件,推迟进行TAVR治疗的年龄。姑息治疗方式主要有BAV和外科主动脉瓣置换术(surgical aortic valve replacement, SAVR)两种术式。绝大多数CAS患儿在接受初始治疗后30年内(此时主动脉瓣瓣环已发育成熟)需要进行TAVR治疗<sup>[7]</sup>,包括自体肺动脉瓣移植术(Ross术)和机械瓣膜置换术等<sup>[6]</sup>。随着介入技术及器械的快速发展,经导管主动脉瓣置入术已逐渐取代机械瓣膜置换术成为TAVR的主要术式。

在1964年,Dotter和Judkins<sup>[9]</sup>第一次在外周动脉阻塞处穿过导丝,通过扩大导管的尺寸达到扩张狭窄病变的效果。随后,Grüntzig<sup>[10]</sup>开发了带有气囊的双腔导管,并成功应用于脐动脉、股动脉等狭窄病变的扩张。直到1983年,Lababidi<sup>[4]</sup>才开创性地将此技术应用用于CAS治疗。BAV和SAVR均能有效地解除左室流出道梗阻<sup>[11]</sup>,而BAV凭借其侵入性更小等特点取代SAVR成为CAS初始治疗的首选疗法。

**2.1 BAV 的适应证和禁忌证** 根据相关专家共识<sup>[12]</sup>,当CAS患儿出现以下3类指征时推荐进行BAV治疗,包括:(1)静息状态下经导管测量的收缩期跨瓣压差 $\geq 50$  mmHg;(2)静息状态下经导管测量的收缩期跨瓣压差 $\geq 40$  mmHg,且伴有症状(如心绞痛、晕厥)或心电图提示缺血性ST-T改变;(3)无论收缩期跨瓣压差如何,新生儿单纯性重症CAS依赖动脉导管未闭存活或出现左心室收缩功能不全。对于无症状及心电图ST-T正常的儿童或青少年CAS患者,出现以下两种情况可以考虑进行BAV治疗,包括:(1)静息状态下经导管测量的收缩期跨瓣压差 $\geq 40$  mmHg,准备参加竞技体育运动;(2)在深度镇静状态下经导管测量的收缩期跨瓣压差 $< 50$  mmHg,但是在非镇静状态下 $> 50$  mmHg。而对于以下两类患者一般不推荐进行BAV治疗,包括:(1)经导管测量的收缩期主动脉瓣跨瓣压差 $< 40$  mmHg,且无相关症状及心电图改变;(2)合并明显主动脉瓣反流,需要进行TAVR或SAVR的主动脉瓣狭窄患儿。

以下6项为BAV的绝对禁忌证:(1)主动脉瓣狭窄伴中度以上主动脉瓣反流;(2)发育不良型主动脉瓣狭窄;(3)纤维肌性或管道样主动脉瓣下狭窄;(4)单纯主动脉瓣上狭窄;(5)有风湿活动的主动脉瓣狭窄;(6)左心室存在血栓、心内膜炎和围术期不能使用抗血栓治疗。

**2.2 BAV 的主要操作步骤** 儿童BAV通常在全身麻醉下进行,球囊导管可经逆行和顺行两种方法穿过主动脉瓣,最常用的方法是经皮股动脉逆行穿刺(在新生儿中则采用经脐动脉逆行穿刺),或通过未闭合的卵圆孔向前推进,随后通过加硬导丝穿过狭窄瓣膜,将球囊导管传送至主动脉瓣口处,利用球囊扩张时产生的力量分离粘连的主动脉瓣,从而解除瓣口的狭窄。辅以成像技术可实现高效定位,使得解剖标志和导管位置可视化,从而获得更好的介入效果<sup>[2]</sup>。辅以成像技术的BAV治疗包括经典的X射线引导下BAV治疗、放射线结合超声引导的BAV治疗和单纯超声引导的BAV治疗<sup>[11]</sup>。推荐的BAV球囊/瓣环直径比值为 $0.9\sim 1.0$ <sup>[13]</sup>。球囊充气时施加的径向扩张力通常会撕裂瓣膜最薄的部分。部分CAS患儿可能会同时合并主动脉瓣环偏心,对于此类患儿和选择球囊/瓣环直径比值 $> 1.1$ 者而言,BAV后出现主动脉反流的风险显著增加<sup>[12]</sup>。可应用二维超声图像测量胸骨旁长轴和短轴视图的瓣环尺寸,结合左室造影结果综合分析得到的数据用于选择合适的球囊导管,有利于达到最佳的BAV治疗效果<sup>[2]</sup>。

**2.3 BAV 疗效判定标准** 术后主动脉瓣关闭不全(aortic insufficiency, AI)是判断BAV效果的一个重要指标。根据造影结果将AI分为5度,轻度以上则称为显著AI,见表1。

表1 AI分度标准

分度	造影表现
无	无
轻度	仅舒张期少量造影剂进入左心室
中度	整个左心腔出现淡淡浑浊
中重度	左心室透亮,密度等同于升主动脉
重度	在1次心跳内左心室腔出现完全、致密的影像,并且左心室的影像密度高于升主动脉

基于相关临床研究结果和专家共识,Boe等<sup>[14]</sup>提出BAV预后的评估主要根据术后最终最高收缩期射血梯度(peak systolic ejection gradient, PSEG)和AI,可分为如下3类:(1)最佳结果,即PSEG $\leq 35$  mmHg且无AI出现;(2)预后良好,即PSEG $\leq 35$  mmHg伴随轻度及以下AI,或原有AI无恶化;(3)预后欠佳,即PSEG $> 35$  mmHg和/或存在中度及以上的AI,或AI较术前加重。

**2.4 BAV 的疗效** (1)短期疗效。BAV已被证实为一种治疗CAS的安全有效方式。大多数CAS患儿在接受BAV后,主动脉瓣压力梯度立即下降<sup>[2]</sup>,并且在短期和长期随访中主动脉瓣压力梯度均保持在较低

水平<sup>[7]</sup>。既往研究表明,在发达国家,尤其是英国、美国和加拿大等国家,非危重CAS患儿的BAV术后病死率为 $2\%\sim 4\%$ <sup>[15-16]</sup>,而危重CAS患儿的BAV术后病死率则为 $9\%\sim 14\%$ <sup>[17-19]</sup>。IMPACT研究<sup>[14]</sup>为近年来美国针对CAS患儿BAV疗效的大型研究,该研究分析了1 026例CAS患儿行BAV的疗效,结果显示取得最佳结果、预后良好、预后欠佳的病例分别占 $34.5\%$ 、 $35.5\%$ 、 $30.0\%$ ,BAV治疗总成功率为 $70\%$ ,而大多数不成功的病例均是由严重AI或者AI加重导致;与BAV相关的不良事件发生率为 $5\%\sim 40\%$ ,主要发生于婴幼儿和重度CAS患儿;非危重CAS患儿的BAV治

疗成功率为70.9%,重大不良事件发生率为9.6%,住院病死率为1.5%,而危重CAS患儿的BAV治疗成功率为62.7%,重大不良事件发生率为27.3%,住院病死率为10.0%。因此,BAV的短期疗效主要与患儿主动脉瓣的情况有关,除了心导管术既往史、合并混合瓣膜疾病、多次球囊充气等,基线主动脉瓣跨瓣压差>60 mmHg、基线AI轻度以上均为BAV治疗失败的危险因素<sup>[14]</sup>。(2)长期疗效。2023年,一项发表于《美国心脏病协会杂志》的长期随访研究结果显示,CAS患儿在BAV术后有良好的生存率,术后10年生存率约为89.9%,其中59.9%的患儿无须再接受任何瓣膜干预治疗;术后20年生存率约为85.9%,其中35.2%的患儿无须再接受任何瓣膜干预治疗;术后30年生

存率约为82.0%,其中26.7%的患儿无须再接受任何瓣膜干预治疗<sup>[7]</sup>。有关CAS患儿BAV长期疗效的其他研究结果见表2。但是BAV术后出现再狭窄和AI的问题仍然存在。严重的再狭窄和AI是导致CAS患儿不良预后的独立危险因素<sup>[20]</sup>。因此,BAV术后的定期随访十分重要,短期随访通常为6~24个月,长期随访为5年及以上。此外,还有学者指出,BAV术后无TAVR生存期主要与较低的跨瓣压差和较低程度的AI相关,而与患儿的干预年龄、干预时期的技术水平和术前主动脉瓣狭窄严重程度则没有显著相关性<sup>[21]</sup>。总之,采用BAV治疗CAS患儿能有效缓解左室流出道梗阻,随着年龄增长,主动脉瓣环逐渐发育成熟,随访中如出现重度主动脉瓣反流可再考虑瓣膜置换。

表2 BAV治疗CAS患儿长期疗效的部分研究结果

第一作者	发表年份	例数(n)	BAV成功率	BAV相关病死率	生存率	无须再接受任何瓣膜干预治疗的病例比例
Moore P <sup>[22]</sup>	1996年	148	87%	0.7%	术后8年:95%	术后8年:50%
Egito ES <sup>[18]</sup>	1997年	33	—	12.0%	术后8年:88%	术后8年:64%
					术后5年:72%	术后5年:89%
Brown DW <sup>[21]</sup>	2010年	509	—	—	术后10年:54%	术后10年:72%
					术后20年:27%	术后20年:53%
Torres A <sup>[23]</sup>	2015年	373	71%	0	—	—
Hill GD <sup>[24]</sup>	2016年	1 835	—	6.0%	术后10年:87%	术后10年:46%
Boe BA <sup>[25]</sup>	2017年	1 026	非危重病例:70.9% 危重病例:62.7%	0 0	— —	— —
Charafeddine FA <sup>[26]</sup>	2021年	30	90%	3%	术后10年:87%	术后10年:87%
Papneja K <sup>[27]</sup>	2022年	98	—	1.0%	术后10年:55.4%	术后10年:43.6%
					术后10年:89.9%	术后10年:59.9%
Materna O <sup>[7]</sup>	2023年	409	—	9.3%	术后20年:85.9%	术后20年:35.2%
					术后30年:82.0%	术后30年:26.7%

注:“—”指未提供相关数据。

**2.5 BAV相关并发症** BAV相关并发症主要是AI和再狭窄,其他可能发生的不良事件包括股动脉血管损伤、左心室及升主动脉穿孔、二尖瓣损伤、心律失常等。此外,在长期随访中还发现存在BAV术后左心室舒张末期直径增大的病例,这可能是追赶性生长或AI所致<sup>[27]</sup>。

BAV术后约有15%的病例会出现急性轻度AI<sup>[28]</sup>,在长期随访中,AI发生率持续增加,因此AI是BAV术后重点关注的问题之一。在技术层面,BAV术后发生AI的主要原因是钢丝稳定性较低导致球囊纵向移位,因此稳定球囊是改善AI的关键。临床上,腺苷曾被用于在BAV期间制造短暂的药物性心脏停搏,但是由于心跳停搏的持续时间难以控制,且风险较

高,该方法的使用受到限制。目前,有研究表明,快速右心室起搏技术可用于年长儿BAV中的球囊稳定,可减少每搏量、血压和跨瓣血流,用于模拟心脏停搏,但是在新生儿及婴幼儿BAV中的应用受限<sup>[29]</sup>。近期有研究报告在7例新生儿BAV中应用快速经食道心房调搏来实现球囊稳定,均取得良好预后<sup>[28]</sup>,但是仍缺乏大量研究证实其安全性及有效性。此外,BAV术后AI呈进行性发展且不依赖于初始的反流等级,严重的AI可引起急性左心衰竭,因此当出现严重AI时需要尽早进行外科手术干预,甚至可考虑进行TAVR。

在短期随访中,约23%的BAV术后患儿可能会出现再狭窄的现象,接受BAV时的年龄<3岁和BAV后PSEGE≥30 mmHg是发生再狭窄的预测因子<sup>[13,16]</sup>。

主动脉瓣的形态和球囊/瓣环直径比值可能在随访评估再狭窄中发挥关键作用<sup>[30]</sup>。对于BAV术后再狭窄患儿,可再次行BAV治疗<sup>[13,30]</sup>。

### 3 BAV与SAVR的比较

BAV和SAVR均为非危重CAS患儿的姑息性手术治疗方法。Zaban等<sup>[31]</sup>发现,接受BAV和SAVR治疗的CAS患儿术后的平均压差梯度(基于经胸超声心动图的检测结果)无明显差异(分别为25.8 mmHg、26.2 mmHg)。近期日本的一项多中心研究结果显示,接受BAV治疗的CAS患儿术后平均压差梯度从60(45~75)mmHg降至35(21~44)mmHg,而接受SAVR治疗的CAS患儿术后平均压差梯度从70(60~80)mmHg降至38(23~55)mmHg,两类患儿治疗前后的平均压差梯度差异无统计学意义( $P>0.05$ )<sup>[6]</sup>。这提示BAV和SAVR均能取得类似的治疗效果,有效缓解CAS患儿左心室梗阻。

2001年,先天性心脏病外科医生协会数据库中一项具有里程碑意义的研究结果显示<sup>[32]</sup>,BAV与SAVR在生存率和再干预率方面的结果相当。然而,在该研究中有32.1%的CAS患儿在手术中使用现已停用的技术(Hegar扩张器)进行主动脉瓣扩张,因此这项研究并不能反映当前的情况。目前普遍认为BAV的再干预率高于SAVR<sup>[6,33-35]</sup>。但从临床角度来看,儿童CAS的治疗目标应该是让患儿避免TAVR干预<sup>[6,34]</sup>,而BAV与SAVR在术后TAVR干预率方面并无明显差异。Saung等<sup>[35]</sup>通过对18项研究(4 078名CAS患者)进行荟萃分析来比较BAV与SAVR在TAVR干预率方面的差异,发现BAV、SAVR的术后TAVR干预率分别为20%、17%,差异并无统计学意义( $P>0.05$ )。总之,未来BAV的技术改进应着手于降低再干预率,实现避免TAVR干预的同时保障CAS患儿的安全,改善其预后。此外,有文献报告,接受BAV和SAVR治疗的CAS患儿的术后生存率(1年、5年和10年生存率)<sup>[6]</sup>及术后病死率无明显差异<sup>[35-36]</sup>,且死亡病例均主要发生在新生儿和重度CAS患儿<sup>[35-36]</sup>。

综上,采用BAV和SAVR治疗CAS患儿均能达到姑息治疗效果,且患儿术后生存率、短期疗效、术后TAVR干预率、术后病死率均无明显差异。虽然BAV的术后再干预率高于SAVR,但是BAV具有创伤小、无瘢痕、安全性高、住院时间短及可重复实施等优势,目前已成为国际上初始治疗CAS的首选治疗方式,而SAVR主要适用于不适合BAV的复杂病例<sup>[37]</sup>。值得注

意的是,2022年Yuzawa-Tsukada等<sup>[38]</sup>报告了在成人重度主动脉瓣狭窄患者中使用INOUE-BALLOON进行逆行BAV的安全性和可行性。相信未来也会开发出更适合儿童CAS的球囊,从而更好地改善CAS患儿的预后。

### 4 胎儿重度主动脉瓣狭窄的宫内FAV治疗

胎儿重度主动脉瓣狭窄(severe aortic stenosis, SAS)是一种危及胎儿生命的心脏病,在妊娠中期可能导致心肌损害,在妊娠后期则可进展为左心发育不全综合征(hypoplastic left heart syndrome, HLHS)<sup>[36,39]</sup>,因此需要在疾病早期进行干预。超声心动图可在妊娠中期识别出SAS及HLHS风险较高的胎儿,而及时治疗可防止左心生长停滞并改善胎儿预后。胎儿心脏介入治疗是一种侵入性宫内技术,可降低SAS相关病死率,并增加出生后双心室循环的可能性<sup>[40]</sup>。1991年,Maxwell等<sup>[41]</sup>首次将胎儿主动脉瓣成形术(fetal aortic valvuloplasty, FAV)用于治疗胎儿SAS,并取得成功。随后Tworetzky等<sup>[42]</sup>进一步验证了其可行性。但是该技术仍然面临一定的挑战性,需产科、新生儿科、超声科、麻醉科、儿科心血管科等多学科医生协作,仅少数医疗中心可以实施。研究表明,应用FAV治疗SAS可获得较好的效果,术后双心室结局比例为37%~46%,手术相关病死率低于15%<sup>[36]</sup>。此外,FAV可以使胎儿左心室生长稳定,改善血流动力学,从而提高胎儿出生后双心室循环持续率<sup>[43]</sup>。而左心室直径扩大、跨瓣压差和心内膜纤维化是FAV治疗后预后不良的预测因子<sup>[44]</sup>,所以选择合适的病例进行FAV是改善胎儿预后的关键。

FAV是一种高风险手术,因此需要仔细权衡其利弊,同时考虑手术带来的胎儿死亡风险、技术性失败的可能性,以及技术上手术成功但出生后仍可能发展为单心室循环的情况<sup>[45]</sup>。目前,使用四维重建可对胎儿心脏进行准确分析,下一步可应用人工智能算法,将胎儿特征与超声心动图数据相结合,从而制订更好的个性化治疗方案<sup>[46]</sup>。

目前,FAV的最佳适应证仍存在争议。基于相关文献<sup>[47-50]</sup>,当前最可靠的两种FAV病例入选标准均需要通过超声心动图检查评估患儿病情。其中一个标准是波士顿儿童医院提出的左心室压力 $>47$  mmHg和升主动脉Z值 $\geq 0.57$ ;另一标准为林茨儿童心脏中心通过回顾性分析2001—2020年期间接受FAV治疗的103个病例,提出的右心室/左心室最大内径比值 $<1.09$ 或

者右心室/左心室最大内径比值为1.09~1.30且二尖瓣反流最大速度>314 cm/s。因此,还需要更大样本量的临床研究来明确FAV的最佳适应证,从而获得最佳的治疗效果。

## 5 小 结

采用BAV治疗CAS可以显著缓解患儿的左心室梗阻,随着技术改进,BAV治疗成功率得到提高,手术相关死亡和不良事件的发生率降低,目前已经成为CAS的首选初始治疗方法,而对于不适合BAV治疗的CAS患儿可考虑SAVR治疗。随着年龄增长,部分CAS患儿术后会出现再狭窄或进行性主动脉瓣反流,所以需要长期随访以及及时进行再干预。目前FAV仍颇具挑战,需要综合分析选择最佳的治疗方案,以期获得最佳的治疗效果及预后。

## 参 考 文 献

- [1] Singh GK. Aortic stenosis [J]. *Indian J Pediatr*, 2002, 69(4): 351-358.
- [2] Singh GK. Congenital aortic valve stenosis [J]. *Children (Basel)*, 2019, 6(5): 69.
- [3] Ołasińska-Wiśniowska A, Trojnarowska O, Grygier M, et al. Percutaneous balloon aortic valvuloplasty in different age groups [J]. *Postepy Kardiologii Interwencyjnej*, 2013, 9(1): 61-67.
- [4] Lababidi Z. Aortic balloon valvuloplasty [J]. *Am Heart J*, 1983, 106(4 Pt 1): 751-752.
- [5] Sievers HH, Stierle U, Mohamed SA, et al. Toward individualized management of the ascending aorta in bicuspid aortic valve surgery: the role of valve phenotype in 1362 patients [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 148(5): 2072-2080.
- [6] Muneuchi J, Kuraoka A, Nagatomo Y, et al. Comparison between transcatheter versus surgical intervention for pediatric aortic valvular stenosis: a multicenter study in Japan [J]. *Heart Vessels*, 2024, 39(9): 826-836.
- [7] Materna O, Tax P, Tomek V, et al. Long-term results of congenital aortic stenosis treatment in the era of percutaneous balloon valvuloplasty: up to 33 years follow-up [J]. *J Am Heart Assoc*, 2023, 12(12): e028837.
- [8] Auld B, Carrigan L, Ward C, et al. Balloon aortic valvuloplasty for congenital aortic stenosis: a 14-year single centre review [J]. *Heart Lung Circ*, 2019, 28(4): 632-636.
- [9] Dotter CT, Judkins MP. Transluminal treatment of arteriosclerotic obstruction. Description of a new technique and a preliminary report of its application [J]. *Circulation*, 1964, 30: 654-670.
- [10] Grüntzig A. Percutaneous recanalisation of chronic arterial occlusions (Dotter principle) with a new double lumen dilatation catheter (author's transl) [J]. *Rofo*, 1976, 124(1): 80-86.
- [11] 殷开敷,寇龙伟,马松峰.先天性左室流出道狭窄的诊断与治疗 [J]. *临床医学进展*, 2023, 13(3): 3328-3335.
- [12] 中国医师协会儿科医师分会先天性心脏病专家委员会,中华医学会儿科学分会心血管学组,《中华儿科杂志》编辑委员会.儿童常见先天性心脏病介入治疗专家共识 [J]. *中华儿科杂志*, 2015, 53(1): 17-24.
- [13] Rao PS. Balloon dilatation in the management of congenital obstructive lesions of the heart: review of author's experiences and observations-part II [J]. *J Cardiovasc Dev Dis*, 2023, 10(7): 288.
- [14] Boe BA, Zampi JD, Kennedy KF, et al. Acute success of balloon aortic valvuloplasty in the current era: a national cardiovascular data registry study [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2017, 10(17): 1717-1726.
- [15] Rocchini AP, Beekman RH, Ben Shachar G, et al. Balloon aortic valvuloplasty: results of the valvuloplasty and angioplasty of congenital anomalies registry [J]. *Am J Cardiol*, 1990, 65(11): 784-789.
- [16] McCrindle BW. Independent predictors of immediate results of percutaneous balloon aortic valvotomy in childhood [J]. *Am J Cardiol*, 1996, 77(4): 286-293.
- [17] McElhinney DB, Lock JE, Keane JF, et al. Left heart growth, function, and reintervention after balloon aortic valvuloplasty for neonatal aortic stenosis [J]. *Circulation*, 2005, 111(4): 451-458.
- [18] Egito ES, Moore P, O'Sullivan J, et al. Transvascular balloon dilation for neonatal critical aortic stenosis: early and midterm results [J]. *J Am Coll Cardiol*, 1997, 29(2): 442-447.
- [19] Hamidi-Manesh L, Tibby SM, Herman R, et al. Influence of balloon size on aortic regurgitation in neonates undergoing balloon aortic valvuloplasty--a retrospective study over an 11-year period [J]. *J Interv Cardiol*, 2013, 26(2): 200-207.
- [20] Sullivan PM, Rubio AE, Johnston TA, et al. Long-term outcomes and re-interventions following balloon aortic valvuloplasty in pediatric patients with congenital aortic stenosis: a single-center study [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2017, 89(2): 288-296.
- [21] Brown DW, Dipilato AE, Chong EC, et al. Aortic valve reinterventions after balloon aortic valvuloplasty for congenital aortic stenosis intermediate and late follow-up [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 56(21): 1740-1749.
- [22] Moore P, Egito E, Mowrey H, et al. Midterm results of balloon dilation of congenital aortic stenosis: predictors of success [J]. *J Am Coll Cardiol*, 1996, 27(5): 1257-1263.
- [23] Torres A, Vincent JA, Everett A, et al. Balloon valvuloplasty for congenital aortic stenosis: multi-center safety and efficacy outcome assessment [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2015, 86(5): 808-820.
- [24] Hill GD, Ginde S, Rios R, et al. Surgical valvotomy versus balloon valvuloplasty for congenital aortic valve stenosis: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Am Heart Assoc*, 2016, 5(8): e003931.

- [25] Boe BA, Zampi JD, Kennedy KF, et al. Acute success of balloon aortic valvuloplasty in the current era: a national cardiovascular data registry study [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2017, 10(17): 1717–1726.
- [26] Charafeddine FA, Houssein HB, Kibbi NB, et al. Balloon valvuloplasty for congenital aortic stenosis: experience at a tertiary center in a developing country [J]. *J Interv Cardiol*, 2021, 2021: 6681693.
- [27] Papneja K, Blatman ZM, Kawpeng ID, et al. Trajectory of left ventricular remodeling in children with valvar aortic stenosis following balloon aortic valvuloplasty [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(1): e013200.
- [28] Meliota G, Vairo U. Transcatheter interventions for neonates with congenital heart disease: a review [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13(16): 2673.
- [29] Mylonas KS, Ziogas IA, Mylona CS, et al. Rapid right ventricular pacing for balloon valvuloplasty in congenital aortic stenosis: a systematic review [J]. *World J Cardiol*, 2020, 12(11): 540–549.
- [30] RAO PS. Balloon aortic valvuloplasty [J]. *J Interv Cardiol*, 1998, 11(4): 319–329.
- [31] Zaban NB, Herrmann JL, Hoyer MH, et al. Short- and intermediate-term results of balloon aortic valvuloplasty and surgical aortic valvotomy in neonates [J]. *Cardiol Young*, 2020, 30(4): 489–492.
- [32] McCrindle BW, Blackstone EH, Williams WG, et al. Are outcomes of surgical versus transcatheter balloon valvotomy equivalent in neonatal critical aortic stenosis? [J]. *Circulation*, 2001, 104: I152–I158.
- [33] Brown JW, Rodefeld MD, Ruzmetov M, et al. Surgical valvuloplasty versus balloon aortic dilation for congenital aortic stenosis: are evidence-based outcomes relevant? [J]. *Ann Thorac Surg*, 2012, 94(1): 146–155.
- [34] Siddiqui J, Brizard CP, Galati JC, et al. Surgical valvotomy and repair for neonatal and infant congenital aortic stenosis achieves better results than interventional catheterization [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 62(22): 2134–2140.
- [35] Saung MT, McCracken C, Sachdeva R, et al. Outcomes following balloon aortic valvuloplasty versus surgical valvotomy in congenital aortic valve stenosis: a meta-analysis [J]. *J Invasive Cardiol*, 2019, 31(6): E133–E142.
- [36] Walter A, Strizek B, Weber EC, et al. Intrauterine valvuloplasty in severe aortic stenosis—a ten years single center experience [J]. *J Clin Med*, 2022, 11(11): 3058.
- [37] Fratz S, Gildein HP, Balling G, et al. Aortic valvuloplasty in pediatric patients substantially postpones the need for aortic valve surgery: a single-center experience of 188 patients after up to 17.5 years of follow-up [J]. *Circulation*, 2008, 117(9): 1201–1206.
- [38] Yuzawa-Tsukada N, Kashiwagi Y, Nonoue A, et al. The safety and feasibility of retrograde balloon aortic valvuloplasty using the INOUE-BALLOON with severe aortic stenosis [J]. *Heart Vessels*, 2022, 37(12): 2093–2100.
- [39] Gardiner HM, Kovacevic A, Tulzer G, et al. Natural history of 107 cases of fetal aortic stenosis from a European multicenter retrospective study [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2016, 48(3): 373–381.
- [40] Zhao L, Wang L, Xia H, et al. Prognosis and outcome of intrauterine treatment of fetuses with critical congenital heart disease [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2024, 137(12): 1431–1436.
- [41] Maxwell D, Allan L, Tynan MJ. Balloon dilatation of the aortic valve in the fetus: a report of two cases [J]. *Br Heart J*, 1991, 65(5): 256–258.
- [42] Tworetzky W, Wilkins-Haug L, Jennings RW, et al. Balloon dilation of severe aortic stenosis in the fetus: potential for prevention of hypoplastic left heart syndrome: candidate selection, technique, and results of successful intervention [J]. *Circulation*, 2004, 110(15): 2125–2131.
- [43] Bradford VR, Tworetzky W, Callahan R, et al. Hemodynamic and anatomic changes after fetal aortic valvuloplasty are associated with procedural success and postnatal biventricular circulation [J]. *Prenat Diagn*, 2022, 42(10): 1312–1322.
- [44] Araujo Júnior E, Tonni G, Chung M, et al. Perinatal outcomes and intrauterine complications following fetal intervention for congenital heart disease: systematic review and meta-analysis of observational studies [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2016, 48(4): 426–433.
- [45] Rizzo G, Pietrolucci ME, Mappa I. Which is the best time to perform balloon valvuloplasty in critically fetal aortic stenosis: prenatally or after birth? [J]. *J Clin Ultrasound*, 2022, 50(9): 1286–1287.
- [46] Rizzo G, Pietrolucci ME, Capponi A, et al. Exploring the role of artificial intelligence in the study of fetal heart [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2022, 38(5): 1017–1019.
- [47] Tulzer A, Arzt W, Gitter R, et al. Valvuloplasty in 103 fetuses with critical aortic stenosis: outcome and new predictors for postnatal circulation [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2022, 59(5): 633–641.
- [48] Friedman KG, Sleeper LA, Freud LR, et al. Improved technical success, postnatal outcome and refined predictors of outcome for fetal aortic valvuloplasty [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2018, 52(2): 212–220.
- [49] Kohl T, Sharland G, Allan LD, et al. World experience of percutaneous ultrasound-guided balloon valvuloplasty in human fetuses with severe aortic valve obstruction [J]. *Am J Cardiol*, 2000, 85(10): 1230–1233.
- [50] McElhinney DB, Marshall AC, Wilkins-Haug LE, et al. Predictors of technical success and postnatal biventricular outcome after in utero aortic valvuloplasty for aortic stenosis with evolving hypoplastic left heart syndrome [J]. *Circulation*, 2009, 120(15): 1482–1490.

(收稿日期:2025-03-17 修回日期:2025-05-20)