

## · 综述 ·



全文二维码

## 保瓣手术策略在法洛四联症治疗中的应用进展

岑宇航 鲁亚南

上海交通大学医学院附属新华医院小儿心脏中心, 上海 200092

通信作者: 鲁亚南, Email: luyanan@yahoo.com

**【摘要】** 法洛四联症(tetralogy of Fallot, TOF)是一种常见的先天性青紫型心脏病,占先天性心脏病的5%~7%。目前手术是TOF的主要治疗方式,大多数患儿经手术治疗后长期预后良好。手术治疗的目的在于解除右心室流出道狭窄,闭合室间隔缺损,尽可能保留肺动脉瓣和维护右心功能。肺动脉瓣反流(pulmonary regurgitation, PR)是TOF根治术后常见并发症,是导致许多不良结局的重要因素。除应用肺动脉瓣置换术治疗术后PR以外,保瓣手术策略逐渐成为TOF治疗的首选手术方式,可以有效预防术后PR的发生或加重,改善患儿预后。本文主要阐述保瓣手术在法洛四联症治疗中的应用进展,包括保瓣手术的应用指征、手术策略、预后以及实施保瓣手术面临的挑战。

**【关键词】** 法洛四联症; 心脏外科手术, 方法; 手术后并发症; 肺动脉瓣闭锁不全; 肺动脉瓣; 保瓣手术

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202404058-016

## Application of valve-sparing surgery for tetralogy of Fallot

Cen Yuhang, Lu Yanan

Pediatric Heart Center, Affiliated Xinhua Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China

Corresponding author: Lu Yanan, Email: luyanan@yahoo.com

**【Abstract】** As a common congenital cyanotic heart disease, tetralogy of Fallot (TOF) accounts for 5%~7% of congenital heart diseases (CHDs). Currently surgery has been a major treatment for TOF and long-term outcomes are satisfactory. The objectives of surgery include relieving stenosis of right ventricular outflow tract, closing ventricular septal defects, preserving pulmonary valve and maintaining right ventricular function as much as possible. Pulmonary regurgitation (PR) is a common complication after TOF surgery and it is an important factor leading to many adverse outcomes. In addition to postoperative PR with pulmonary valve replacement, valve-sparing surgery has gradually become a preferred option for TOF. It can effectively prevent the onset or aggravation of postoperative PR and improve patient outcomes. This review focused upon the indications, strategies, prognoses and challenges of valve-sparing surgery.

**【Key words】** Tetralogy of Fallot; Cardiac Surgical Procedures, Methods; Postoperative Complications; Pulmonary Valve Insufficiency; Pulmonary Valve; Valve Sparing

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202404058-016

法洛四联症(tetralogy of Fallot, TOF)是一种临床上常见的青紫型先天性心脏病,发病率为0.3‰~0.6‰,占先天性心脏病的5%~7%<sup>[1]</sup>。该病的病理特征包括肺动脉狭窄、主动脉骑跨、室间隔缺损和右心室肥厚。研究表明,未经手术治疗的TOF患者预后明显差于接受手术者<sup>[2]</sup>。Cuyper等<sup>[3]</sup>研究发现,TOF根治术后10、20、30和40年的生存率分别为98%、96%、92%和86%。尽管大部分患儿经TOF根治术后预后良好,但仍有部分患儿受到术后并发症的困扰,甚至需要再次接受干预治疗。实施TOF根治术时,由于对肺动脉瓣狭窄的处理可能导致肺动脉瓣关闭不全,特别是

在行跨瓣补片解除右室流出道梗阻时,往往造成肺动脉瓣反流(pulmonary regurgitation, PR),这是TOF根治术后最常见的并发症,也是导致TOF患者预后不良的重要因素。为了预防和减轻PR的影响,美国胸外科协会2022年专家共识明确指出,对于行根治术的TOF患者应尽可能保留肺动脉瓣功能,如果无法挽救,可以考虑重建肺动脉瓣<sup>[4]</sup>。因此,保瓣手术(valve-sparing, VS)在TOF治疗中的应用成为目前小儿外科医师关注的重要问题。

一、TOF根治术后肺动脉瓣反流及保瓣手术的必要性

过去TOF根治术强调完全缓解梗阻,广泛采用的是跨环

补片(transannular patch,TAP)手术。该术式在远端肺动脉上切开一个切口,向近端延伸以分割肺动脉瓣环,并缝合一个用于重建右室流出道的贴片<sup>[5]</sup>。TAP 手术是一种应用广泛且行之有效的术式,但术后肺动脉瓣关闭不全被认为是不可避免且不重要的后遗症。近年来,通过长期随访发现,有 40%~85% 的 TOF 患儿于 TAP 术后 5~10 年出现中度至重度 PR<sup>[6]</sup>。中、重度慢性 PR 可导致右心室进行性扩张和心肌功能恶化,而右心室扩张可导致三尖瓣瓣环扩张,进而造成三尖瓣反流。与此同时,三尖瓣反流可进一步导致右心房、右心室扩张。右心室扩张可减慢心室间的传导,产生异常折返环,诱发持续性室性心动过速<sup>[6]</sup>。TOF 患者在 PR 早期可无明显症状,并可长期耐受。当其出现症状时,通常已经出现了右心功能障碍,且可能变得不可逆,主要表现为运动不耐受、充血性心力衰竭、房性或室性心律失常、心源性猝死。为了预防或改善术后 PR,VS 手术策略成为 TOF 根治术的首选策略。

随着外科技术的发展,无论是 TAP 或 VS,手术成功率均有充分保障,人们更加关心的是手术后长期预后情况。Blais 等<sup>[7]</sup>对 1980—2015 年间 528 例 TOF 患者进行回顾性队列研究,比较 VS 术后与 TAP 术后 30 年长期随访结果,发现 VS 组与 TAP 组术后 30 年生存率相当,但前者的死亡风险仅为后者的 1/10;接受 VS 且术后无肺动脉狭窄残留的患者术后再次干预次数明显少于接受 TAP 的患者。此外,接受 VS 且术后有明显残余肺动脉狭窄的患者与接受 TAP 的患者相比,术后接受再次干预的次数也有所减少。从长远来看,接受 TAP 的患者术后再次干预的风险要高于接受 VS 的患者。一项纳入 15 项回顾性研究、涉及 1 396 名受试者的 Meta 分析也显示,VS 组与 TAP 组相比,VS 组的手术死亡率和术后 5~10 年再次干预率低于 TAP 组<sup>[5]</sup>。另外,根据 Bacha<sup>[8]</sup>的研究,与 TAP 手术相比,VS 手术显著降低了中度至重度 PR 及其他 TAP 修复相关并发症的发生率。因此,在 TOF 患者治疗中积极采取 VS 手术策略是有益且必要的,应作为首选策略。

## 二、保瓣手术的指征

如果肺动脉瓣形态差且无法保留,则 TAP 修复是不可避免的。不加选择地保留肺动脉瓣也可能对远期预后产生负面影响,因为 VS 术后早期肺动脉狭窄的发生率较 TAP 术更高<sup>[9]</sup>。因此,明确 VS 的指征对于选择手术策略至关重要,但目前并没有统一和明确的标准<sup>[10]</sup>。

### (一)Z 评分

肺动脉瓣环大小一直是决定采用 TAP 或 VS 的重要因素,一般采用肺动脉瓣环 Z 评分来作为预测指标。其优势在于,Z 评分是一项可靠、客观且易于在标准超声心动图上重现的测量结果<sup>[10]</sup>。关于 Z 评分临界值的确定,在不同研究中为 -4~-1 不等<sup>[11]</sup>。根据 Guariento 等<sup>[12]</sup>的研究,接受 VS 策略的患者在随访 5 年中,Z 评分 $\leq -2.85$ 者出现中、重度 PR 的风险增加,因此确定了 Z 评分 -2.85 作为具有良好手术结果与瓣膜功能且无残留梗阻的临界值。而 Stellin 等<sup>[13]</sup>成功对 Z 评分在 -4~-3 之间的患者实施肺动脉瓣重

建手术,尽管术后肺动脉瓣在解剖学上并不令人满意,但其功能合格,中期结果满意,既没有早期死亡,也没有晚期死亡或需要再次手术干预的情况。根据目前研究,仅 Z 评分 $< -5$ 和存在高度发育不良瓣膜的患者必须采取 TAP 手术而不考虑 VS 手术<sup>[12]</sup>。

(二)肺动脉瓣环大小与主动脉瓣环大小比值(pulmonary valvular annulus size to aortic valve annulus size,GA ratio)

由于 Z 评分临界值的确定一直没有一个公认的结果,GA 比值进入了研究者的视野<sup>[14]</sup>。根据 Choi 等<sup>[15]</sup>的研究,与 Z 评分相比,GA 比值在预测 TAP 修复需求方面具有更高的灵敏度和特异度,在临床实践中也更加简单易行。他们通过对 122 例 TOF 患儿进行回顾性研究,将 GA 比值 0.559 作为临界值来预测患儿是否采用 VS 手术,GA 比值高于 0.599 的患者适合采用 VS 手术。

### (三)跨瓣压力差

Siddiqi 等<sup>[16]</sup>研究发现,在手术中采取经食管超声心动图检查跨瓣压力差与 VS 术后需要再干预的可能性之间存在很强的相关性,当术中 VS 修复后经食管超声心动图显示跨瓣压力差大于 45 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)时,再干预的风险高出约 4 倍,因此建议术中行经食管超声心动图检查,当跨瓣压力差峰值大于 45 mmHg 时,应将手术策略转换为 TAP 手术。

(四)右心室/左心室压力比值(right ventricle/left ventricle pressure ratio,RV/LV)

在 TOF 根治术中,术后 RV/LV 压力比值是评价手术结局的指标,该比值大于 0.5 与阴性结局相关<sup>[17]</sup>。在 Choi 等<sup>[11]</sup>的研究中,若出现需要从 VS 手术转为 TAP 手术的情况,则 VS 术后 RV/LV 压力比值均大于 0.5,而 Z 评分小于 -2。上述结果表明,RV/LV 压力比值对于判断 VS 术后是否需要转为 TAP 手术有参考意义。

### (五)肺动脉瓣膜的术中检查

上述指征没有考虑肺动脉瓣的解剖结构和特征,未提供任何有关瓣尖数量、发育不全程度等信息,而这些信息是瓣膜修复的重要数据,是保证良好修复持续时间和长期瓣膜功能的关键<sup>[18]</sup>。因此,在 TOF 根治手术中仅依靠这些指征可能会导致错误的判断或导致手术结果不佳<sup>[11]</sup>。因此术中检查瓣膜更为重要。术中可以根据经 Hegar 扩张器扩张后的肺动脉瓣环以及肺动脉瓣形态来决定具体采用哪种修复方法<sup>[16]</sup>。

## 三、保瓣手术策略

通常情况下,VS 手术策略包括完整的漏斗肌切除术、肺动脉瓣交界切开术以及远端主肺动脉纵向切口和补片<sup>[8]</sup>。

### (一)肺动脉瓣交界切开术和机械扩张术

这是最简单的 VS 手术方式,即通过肺动脉壁切口,沿融合瓣叶交界嵴切开,直至瓣膜基部,之后缝合肺动脉壁切口。Hegar 扩张器可用于测量前后孔口,也可用于直视下轻轻扩张肺动脉瓣<sup>[19]</sup>。这种手术方式对肺动脉瓣环周围组织施加轴向剪切力,可能损伤瓣膜和肺动脉瓣环。对于轻至中度肺动脉瓣狭窄患者而言,是一种合适的手术方式<sup>[5]</sup>。

## (二) 肺动脉瓣交界切开术和术中球囊肺瓣膜成形术

在肺动脉瓣交界切开术的基础上,用 Hegar 扩张器确定有效瓣孔的尺寸。一般从比 Hegar 尺寸大 1 mm 的球囊开始,该球囊容易滑过瓣膜,通过漏斗切口或经右心房通过未打开的右心室流出道插入球囊并充气<sup>[8]</sup>。与机械扩张不同的是,球囊可以引入直径远小于孔口的瓣环中,并且在静止位置发生稳定扩张。应力的径向传递使瓣环扩张和拉伸,这有可能使肺动脉瓣环的重塑和生长成为可能<sup>[20]</sup>。该策略一般用于中度肺动脉瓣狭窄或发育不良<sup>[8]</sup>。

## (三) 单尖瓣膜贴片重建术

即使是存在严重肺动脉狭窄的患者也可以考虑应用肺动脉瓣重建术,其中单尖瓣膜贴片重建术是常用手术策略之一,即将肺动脉瓣环和肺动脉瓣前部瓣叶相交处像 TAP 手术一样进行分离,保留自体瓣膜。天然心包可用作贴片材料,也可采用聚四氟乙烯(polytetrafluoroethylene,PTFE)或细胞外基质(extracellular matrix,ECM)<sup>[19]</sup>。将贴片缝合到每个切割的尖端边缘,在瓣膜的自由边缘上留下 1~2 mm 的突出物朝向肺血流作为重建瓣叶。然后将贴片覆盖整个切口,沿着右心室流出道切口内膜边缘缝合,留下外膜边供第二块贴片覆盖,第二块贴片覆盖整个肺动脉和右心室流出道切口的创面<sup>[8]</sup>。该手术策略可极大程度保留天然瓣膜,有效避免术后 PR。然而,贴片钙化、血栓形成、心内膜炎、耐久性差等缺点也限制了其在 TOF 治疗中的应用<sup>[21]</sup>。

## (四) 分层成形术

对于严重肺动脉狭窄的患者,近年来除了单尖瓣贴片重建术以外,在球囊扩张的基础上进行肺动脉瓣分层成形术,也被引入作为保瓣策略的一种<sup>[22]</sup>。在严重肺动脉狭窄中,球囊将肺动脉瓣瓣叶相交处分开后,小叶不足以覆盖新的整个肺动脉瓣环区域。分层成形术是用手术刀对每个肺动脉瓣的底部进行分层,偶尔将分层延伸到右心室肌,从而获得更多的小叶组织以进行结合。随后,延长的肺动脉瓣被重新悬挂以创建新的肺动脉瓣连合,从而恢复肺动脉瓣功能。当缺乏用于肺动脉瓣重建的小叶组织时,可以添加小三角形的假体贴片材料来延长小叶<sup>[23]</sup>。

## (五) 肺动脉瓣环骨架化治疗

肺动脉瓣环骨架化治疗是一种新的保瓣策略,适用于轻至中度肺动脉狭窄。该技术主要包括自邻近心肌组织对肺动脉瓣环前部进行骨骼化,并通过保留肺动脉瓣膜和瓣环的完整性进行温和扩张。使用这种技术时,应用手术刀完全解剖前部肺动脉瓣环的周围组织,只留下前部肺动脉瓣环的纤维环。在环前部骨骼化后,使用 Hegar 扩张器轻轻扩张肺动脉瓣环。最后利用心包补片完成肺动脉瓣环及肺动脉的重建。作者认为应用该项技术进行肺动脉瓣环扩张更有效,可以预防严重 PR。但由于随访时间较短,其结论还缺乏相关数据支持<sup>[24]</sup>。

## (六) 自体右心耳手术

单尖瓣膜贴片重建术因贴片材料问题,具有较高的术后再干预率,因此寻找新的贴片材料或手术方式势在必行。

Amirghofran 等<sup>[25]</sup>提出了一种新的重建瓣膜材料,即通过构建自体右心耳瓣膜来进行 TOF 修复,在室间隔缺损闭合和右心室流出道肌切除术后创建自体右心耳瓣膜并植入,从而发挥肺动脉瓣功能。当瓣膜严重畸形或瓣环狭窄程度过于严重,无法有效保留自体瓣膜时,自体右心耳手术是可以考虑的 VS 手术方式。

## 四、各种保瓣手术策略的预后情况

### (一) 机械扩张术和术中球囊肺瓣膜成形术

机械扩张术对天然瓣膜要求较高,临床应用受限,其预后较好。术中球囊肺瓣膜成形术是一种相对安全的手术,术后 1~2 年内反流的发生率和严重程度均显著低于 TAP 手术,但术后 5 年的再干预率较高<sup>[5]</sup>。Robinson 等<sup>[26]</sup>的研究也支持这一观点,他们发现,随着时间的推移,术中球囊肺瓣膜成形术提供了显著的肺动脉瓣环生长,同时也存在显著的再干预率,因此该技术不能长期保持肺动脉瓣功能。而 Guariento 等<sup>[12]</sup>十余年来采用改进的术中球囊扩张术,73 例患者在平均 5 年的随访中,肺动脉瓣功能保持较好,无一例需要再干预,提示术中球囊肺瓣膜成形术仍有改进空间。

### (二) 单尖瓣贴片重建术

对于单尖瓣贴片重建术,一项纳入 10 项研究(包括 8 项回顾性队列研究和 2 项随机对照试验)、526 例 TOF 患者的 Meta 分析显示,单尖瓣膜重建术与 TAP 手术相比,在缩短住院时间和降低 TOF 患者 PR 程度方面具有显著优势,但在死亡率方面无显著差异<sup>[27]</sup>。Sasikumar 等<sup>[21]</sup>对 30 例接受单尖瓣贴片重建术的 TOF 患者进行了前瞻性研究,结果显示单尖肺动脉瓣修复 TOF 可降低术后即刻 PR,但 1 年后单尖瓣膜功能丧失了很大一部分,PR 也进展了,并且没有发现任何变量在预测 PR 进展方面具有统计学意义。Bacha<sup>[8]</sup>专门对瓣膜重建患者进行了随访,注意到 PR 随着时间的推移而进展。在最后一次随访中,约 80% 的患者至少发展为中度 PR,但无一例发展为肺动脉狭窄或需要再次手术。

上述结果表明,单尖瓣贴片重建术与 TAP 手术相比,尽管在预防 PR 方面有显著优势,但一段时间后多数患者仍不可避免地发生 PR。单尖小叶的纤维胶原掺入可能是发生进行性 PR 的原因之一<sup>[28]</sup>。贴片的最佳尺寸决定了瓣膜的功效率,贴片尺寸不佳也有可能是 PR 进展的原因之一<sup>[29]</sup>。此外,单尖瓣膜的植入没有支撑框架,缺少支撑也可能导致瓣膜早期衰竭<sup>[21]</sup>。因此,如何更好预防 PR 的进展,以及哪些因素影响单尖瓣贴片重建术后的预后,仍需进一步研究。

### (三) 分层成形术

Dharmapuram 等<sup>[22]</sup>的研究显示,使用分层成形术可以充分保留瓣膜。Vida 等<sup>[30]</sup>的研究也发现,在应用分层成形术的患者中,通过两年的随访,无一例出现肺动脉瓣功能障碍、右心室肌血肿或其他表明分层成形手术失败的异常迹象。这说明在短期内分层成形术的预后是满意的,但由于随访时间短及样本量少,该项技术的长期结果仍需要进一步研究。

### (四) 自体右心耳手术

Amirghofran 等<sup>[25]</sup>于 2018—2019 年间对 21 例 TOF 患者



进行了自体右心耳手术,在 1 年的随访时间里,无一例死亡或发生相关并发症,仅 1 例发展至中度肺动脉瓣反流,3 例发展至轻度肺动脉瓣反流,6 例发生肺动脉狭窄。这说明自体右心耳瓣膜安全有效,可以预防 TOF 修复术后发生肺动脉瓣反流,至少在短期和中期结果如此,而长期结果仍需要进一步随访和研究。

### 五、保瓣手术面临的挑战

尽管大量研究数据表明,保瓣手术策略在预防肺动脉瓣反流、改善患者长期预后及生存率上优于传统 TAP 手术,但其发生早期肺动脉狭窄的风险较高。在一项系列研究中,约 7% 的 TOF 患者因狭窄而需要进行再干预,而经过 TAP 手术的患者发生早期狭窄极为罕见<sup>[8]</sup>。因此密切随访是必要的,以确保肺动脉狭窄不会导致长期右心室高压<sup>[16]</sup>。

肺动脉瓣严重狭窄或高度发育不良的患者也是保瓣手术面临的挑战。对于这类患者以及保瓣手术效果不佳的患者,及时开展 TAP 手术是必要的。应用 TAP 手术后,这些患者很有可能发生术后 PR,那么肺动脉瓣置换术是其主要治疗方式。但肺动脉瓣置换术并不能彻底解决问题,一项包含 48 项研究(共 3 118 例患者)的 Meta 分析显示,肺动脉瓣置换术可以减轻患者心力衰竭症状,改善患者生存状态,但对于症状严重的患者术后获益不大,且手术风险极高,肺动脉瓣置换术后患者仍有发生 PR 进展的可能性<sup>[31]</sup>。

### 六、总结

随着医疗技术的发展,TOF 根治术的长期结果是令人满意的,但其术后并发症(尤其是术后肺动脉瓣反流的预防与治疗)仍然是目前需要研究的问题。过去,TAP 手术是广泛开展的根治手术策略,但现在外科医师普遍认为在 TOF 根治术中应将保瓣手术策略作为首选,其对术后肺动脉瓣反流的预防有良好的效果。然而,如何选择保瓣手术仍存在争议,目前主要根据 Z 评分、GA 比值、跨瓣压力差、RV/LV 比值来进行评估;另外,肺动脉瓣的形态与质量更为重要。目前所采用的保瓣手术策略其预后基本上都优于传统 TAP 手术,但仍有许多问题无法解决,在 TOF 治疗中如何应用保瓣手术策略仍然需要进一步探索。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] 王辉山,李守军.先天性心脏病外科治疗中国专家共识(十):法洛四联症[J].中国胸心血管外科临床杂志,2020,27(11):1247-1254. DOI:10.7507/1007-4848.202007065.  
Wang HS, Li SJ. Chinese Expert Consensus on Surgical Treatment of Congenital Heart Disease (X): Tetralogy of Fallot[J]. Chin J Clin Thorac Cardiovasc Surg, 2020, 27(11): 1247-1254. DOI: 10.7507/1007-4848.202007065.
- [2] Bertranou EG, Blackstone EH, Hazelrig JB, et al. Life expectancy without surgery in tetralogy of Fallot[J]. Am J Cardiol, 1978, 42(3): 458-466. DOI: 10.1016/0002-9149(78)90941-4.
- [3] Cuypers JAAE, Menting ME, Konings EEM, et al. Unnatural history of tetralogy of Fallot: prospective follow-up of 40 years after surgical correction[J]. Circulation, 2014, 130(22): 1944-1953. DOI: 10.1161/circulationaha.114.009454.
- [4] Expert Consensus Panel, Miller JR, Stephens EH, et al. The American Association for Thoracic Surgery (AATS) 2022 expert consensus document: management of infants and neonates with tetralogy of Fallot[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2023, 165(1): 221-250. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2022.07.025.
- [5] Yi K, Wang D, Xu JG, et al. Surgical strategies for preservation of pulmonary valve function in a radical operation for tetralogy of Fallot: a systematic review and meta-analysis[J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 9: 888258. DOI: 10.3389/fcvm.2022.888258.
- [6] 李晓雪,王志远,金梅.法洛四联症根治术后中远期常见并发症的研究进展[J].心肺血管病杂志,2023,42(8): 869-874. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5062.2023.08.019.  
Li XX, Wang ZY, Jin M. Research advances on common medium/long-term complications after radical resection of tetralogy of Fallot[J]. J Cardiovasc Pulm Dis, 2023, 42(8): 869-874. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5062.2023.08.019.
- [7] Blais S, Marelli A, Vanasse A, et al. Comparison of long-term outcomes of valve-sparing and transannular patch procedures for correction of tetralogy of Fallot[J]. JAMA Netw Open, 2021, 4(7): e2118141. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.18141.
- [8] Bacha E. Valve-sparing or valve reconstruction options in tetralogy of Fallot surgery[J]. Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu, 2017, 20: 79-83. DOI: 10.1053/j.pcsu.2016.09.001.
- [9] d'Udekem Y, Galati JC, Rolley GJ, et al. Low risk of pulmonary valve implantation after a policy of transatrial repair of tetralogy of Fallot delayed beyond the neonatal period: the Melbourne experience over 25 years[J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 63(6): 563-568. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.10.011.
- [10] Vaccaro S, Lo Rito M. Preserving the pulmonary valve during tetralogy of Fallot repair: outcome choice dictates the goodness of the operation[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2022, 62(2): ezac434. DOI: 10.1093/ejcts/ezac434.
- [11] Choi SJ, Kwon JE, Roh DE, et al. Importance of pulmonary valve morphology for pulmonary valve preservation in tetralogy of Fallot surgery: comparison of the echocardiographic parameters[J]. Clin Exp Pediatr, 2020, 63(5): 189-194. DOI: 10.3345/kjp.2019.01060.
- [12] Guariento A, Schiena CA, Cattapan C, et al. Pulmonary valve preservation during tetralogy of Fallot repair: midterm functional outcomes and risk factors for pulmonary regurgitation[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2022, 62(2): ezac365. DOI: 10.1093/ejcts/ezac365.
- [13] Stellin G, Guariento A, Vida VL. Evolving techniques for the achievement of optimal long-term results after tetralogy of Fallot repair[J]. World J Pediatr Congenit Heart Surg, 2021, 12(1): 116-123. DOI: 10.1177/2150135120968103.
- [14] Pettersen MD, Du W, Skeens ME, et al. Regression equations for calculation of z scores of cardiac structures in a large cohort of healthy infants, children, and adolescents: an echocardiographic study[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2008, 21(8): 922-934. DOI: 10.1016/j.echo.2008.02.006.
- [15] Choi KH, Sung SC, Kim H, et al. A novel predictive value for the transannular patch enlargement in repair of tetralogy of Fallot[J]. Ann Thorac Surg, 2016, 101(2): 703-707. DOI: 10.1016/j.athoracsurg.2015.10.050.
- [16] Siddiqi U, Adewale A, Pena E, et al. Preserving the pulmonary valve in tetralogy of Fallot repair: reconsidering the indication for valve-sparing[J]. J Card Surg, 2022, 37(12): 5144-5152. DOI: 10.1111/jocs.17156.

- [17] Sen DG, Najjar M, Yilmaz B, et al. Aiming to preserve pulmonary valve function in tetralogy of Fallot repair: comparing a new approach to traditional management [J]. *Pediatr Cardiol*, 2016, 37 (5): 818–825. DOI: 10.1007/s00246-016-1355-1.
- [18] Lozano-Balseiro M, Garcia-Vieites M, Martínez-Bendayún I, et al. Valve-sparing tetralogy of Fallot repair with intraoperative dilation of the pulmonary valve. Mid-term results [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 31 (4): 828–834. DOI: 10.1053/j.semtcvs.2019.04.007.
- [19] Bacha E. Valve-sparing options in tetralogy of Fallot surgery [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu*, 2012, 15 (1): 24–26. DOI: 10.1053/j.pcsu.2012.01.006.
- [20] Sluysmans T, Neven B, Rubay J, et al. Early balloon dilatation of the pulmonary valve in infants with tetralogy of Fallot. Risks and benefits [J]. *Circulation*, 1995, 91 (5): 1506–1511. DOI: 10.1161/01.cir.91.5.1506.
- [21] Sasikumar D, Sasidharan B, Tharakan JA, et al. Early and 1-year outcome and predictors of adverse outcome following monocusp pulmonary valve reconstruction for patients with tetralogy of Fallot: a prospective observational study [J]. *Ann Pediatr Cardiol*, 2014, 7 (1): 5–12. DOI: 10.4103/0974-2069.126538.
- [22] Dharmapuram AK, Ramadoss N, Goutami V, et al. Early experience with surgical strategies aimed at preserving the pulmonary valve and annulus during repair of tetralogy of Fallot [J]. *Ann Pediatr Cardiol*, 2021, 14 (3): 315–322. DOI: 10.4103/apc.APC\_166\_20.
- [23] Vida VL, Zucchetto F, Stellin G. Pulmonary valve-sparing techniques during repair of tetralogy of Fallot: the delamination plasty [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 151 (6): 1757–1758. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2016.02.015.
- [24] Türköz R, Doğan A, Oktay A, et al. Valve-sparing repair with skeletonization of the pulmonary annulus for tetralogy of Fallot [J]. *J Card Surg*, 2019, 34 (12): 1626–1628. DOI: 10.1111/jocs.14252.
- [25] Amirghofran A, Edraki F, Edraki M, et al. Surgical repair of tetralogy of Fallot using autologous right atrial appendages: short-to mid-term results [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2021, 59 (3): 697–704. DOI: 10.1093/ejcts/ezaa374.
- [26] Robinson JD, Rathod RH, Brown DW, et al. The evolving role of intraoperative balloon pulmonary valvuloplasty in valve-sparing repair of tetralogy of Fallot [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 142 (6): 1367–1373. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2011.02.047.
- [27] Wei XD, Li TG, Ling YF, et al. Transannular patch repair of tetralogy of Fallot with or without monocusp valve reconstruction: a meta-analysis [J]. *BMC Surg*, 2022, 22 (1): 18. DOI: 10.1186/s12893-022-01474-6.
- [28] Turrentine MW, McCarthy RP, Vijay P, et al. PTFE monocusp valve reconstruction of the right ventricular outflow tract [J]. *Ann Thorac Surg*, 2002, 73 (3): 871–880. DOI: 10.1016/s0003-4975(01)03441-5.
- [29] Vogt PR, Genoni M, Künzli A, et al. Cryopreserved homograft monocusp valves for reconstruction of the right ventricular outflow tract [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1997, 113 (2): 423. DOI: 10.1016/s0022-5223(97)70345-3.
- [30] Vida VL, Angelini A, Guariento A, et al. Preserving the pulmonary valve during early repair of tetralogy of Fallot: anatomic substrates and surgical strategies [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149 (5): 1358–1363. e1. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2015.01.030.
- [31] Ferraz Cavalcanti PE, Oliveira Sá MPB, Santos CA, et al. Pulmonary valve replacement after operative repair of tetralogy of Fallot: meta-analysis and meta-regression of 3,118 patients from 48 studies [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 62 (23): 2227–2243. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.04.107.

(收稿日期: 2024-04-26)

本文引用格式: 岑宇航, 鲁亚南. 保瓣手术策略在法洛四联症治疗中的应用进展 [J]. *J Clin Ped Sur*, 2025, 24 (2): 191–195. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202404058-016.

Citing this article as: Cen YH, Lu YN. Application of valve-sparing surgery for tetralogy of Fallot [J]. *J Clin Ped Sur*, 2025, 24 (2): 191–195. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202404058-016.

· 编者 · 作者 · 读者 ·

## 本刊关于关键词的书写要求

论文须标引关键词 3~8 个。请尽量使用美国国立医学图书馆最新版《Index Medicus》中《医学主题词表》(MeSH) 规范用词, 中英文关键词须一一对应。如果最新版《医学主题词表》中尚无相应规范用词, 则按如下原则: (1) 选用直接相关的几个主题词进行组配。(2) 根据树状结构表选用最直接的上位主题词。(3) 必要时, 可采用习用的自由词, 并排列于最后。每组英文关键词首词首字母大写, 各词汇之间用“;”分隔。