

·综述·

微创手术治疗儿童先天性心脏病的应用进展



全文二维码



开放科学码

任璐璐 综述 沈立 审校

【摘要】 儿童先天性心脏病手术目前已较成熟,手术重点已不再是单纯治愈疾病、提高生存率,而是在此基础上减少手术各个阶段的创伤,包括身体创伤及术后伤口瘢痕带来的心理创伤。随着现代医学的发展,先天性心脏病微创手术逐渐发展。微创手术旨在最大限度减轻术中身体创伤,减少并发症,促进快速康复。先天性心脏病微创手术方法主要包括右胸前外侧开胸术、右乳下开胸术、胸骨中线保留手术、右腋下切口开胸术、胸腔镜手术、机器人辅助手术、镶嵌手术。微创手术较传统手术具有创伤小、伤口隐蔽、较美观等优点,在房间隔缺损、室间隔缺损等简单先天性心脏病中应用较多。本文旨在介绍微创手术在儿童先天性心脏病治疗中的应用进展,并对多种微创手术方法进行总结和评价。

【关键词】 外科手术, 微创性; 心脏病/先天性; 儿童

【中图分类号】 R61 R726.2 R654.2 R682.1

Recent advances of mini-invasive pediatric cardiac surgery. Ren Lulu, Shen Li. Department of Cardiothoracic Surgery, Shanghai Children's Hospital of Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200062, China, Corresponding author: Shen Li, Email: shenli@shchildren.com.cn.

【Abstract】 Recent decades have brought tremendous advances to the field of pediatric cardiac surgery. Instead of simply curing diseases and improving survival rates, the primary objective of surgery is to reduce trauma during all operative stages, including physical intraoperative trauma and mental trauma of wounds and scars. With the rapid development of modern medicine, mini-invasive surgery has been developed for congenital heart disease (CHD). Mini-invasive surgery is designed to minimize physical trauma, reduce complications, promote a rapid recovery, minimize wounds, obtain favorable cosmetic outcomes and avoid mental stress and inferiority complex caused by traditional surgical incisions. Current mini-invasive procedures for CHD include right anterolateral thoracotomy, right submammary thoracotomy, midline sternal-sparing approaches, right subaxillary thoracotomy, video-assisted thoracoscopy and robotically assisted surgery and hybrid procedures, et al. This paper introduced recent advances in the application of mini-invasive pediatric cardiac surgery and reviewed various mini-invasive surgical approaches.

【Key words】 Surgical Procedures, Minimally Invasive; Heart Diseases/CN; Child

自 Lewis 和 Varco 于 1952 年首次在心内修补房间隔缺损 (atrial septal defect, ASD) 以来,先天性心脏病手术治疗取得了快速发展并走向成熟^[1]。在儿童先天性心脏病 (congenital heart disease, CHD) 外科手术治疗方面,传统的胸骨正中开胸手术 (standard median sternotomy, SMS) 安全、成熟,可以充分暴露手术视野,能取得良好的手术效果,被视

为 CHD 修补术的标准术式。但该手术方式存在创伤大,需切开胸骨,术后伤口较长、瘢痕明显等缺点,且远期胸骨畸形发生率较高,这样严重影响患儿的生理及心理健康。近几十年来,随着现代医学手术技术的快速发展,在保证手术安全基础上,微创手术在儿童 CHD 的治疗中应用越来越多。微创手术不仅可以最大限度地减少手术带来的身体创伤,同时还可以减轻手术给患儿带来的精神创伤。

一、微创手术方法

(一) 右胸前外侧开胸术 (right anterolateral thoracotomy, RALT)/右乳下开胸术 (right submammary thoracotomy, RSMT)

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.10.016

基金项目:国家自然科学基金(编号:81371449)

作者单位:上海交通大学附属儿童医院上海市儿童医院心胸外科(上海市,200062)

通信作者:沈立, Email: shenli@shchildren.com.cn

RALT及RSMT微创开胸术分别始于20世纪70年代和80年代,主要应用于成人及青少年女性,有良好的手术效果,切口较美观,心内结构显示良好,适用于ASD、二尖瓣、三尖瓣手术^[2]。在成人及儿童的CHD手术中,RALT及RSMT与传统SMS相比,术后呼吸机辅助通气时间及术后住院天数均较短,术后ICU滞留时间也有一定优势^[3]。与右腋下小切口相比,RALT及RSMT较右腋下切口开胸术更易暴露,尤其适合于干下型室间隔缺损(ventricular septal defect,VSD)^[4]。但右腋下切口更美观,乳腺结构及胸肌破坏的风险小,并发症相对较少。在开展右腋下切口入路前,手术医生有必要掌握RALT及RSMT手术方式^[5]。

RALT及RSMT虽然切口较美观,但其远期的乳房发育不对称和脊柱侧凸等并发症不容忽视。Vida等^[6]研究发现,RALT造成儿童发育后乳房不对称概率为5%,虽然患儿及其家属对该术式满意度达98%,但由于RALT及RSMT在青春期前女性的应用中会存在破坏乳腺结构的危险,导致乳房发育不对称及乳头敏感性降低。因此,建议该术式用于成人及青春期后乳腺结构清楚的女性。Cingoz等^[7]提出,RALT切口选择在右乳头下较低的位置(第5肋间隙上方),远离未来乳腺发育的区域,可降低乳房不对称的发生率。Sabine等^[8]对手术年龄<12岁的患儿进行长期随访,发现RALT组较SMS组有较高的乳房发育不对称发生率,RALT患儿单侧乳房发育明显受损,但该研究发现两组患者脊柱侧凸发生率仅6.6%,且无组间差别。日本Takashi随访研究指出:年龄<1岁、女性患儿、心脏扩大是CHD术后脊柱侧凸的危险因素。而开胸方式是否与脊柱侧凸发生率有关尚没有研究证实^[9]。此外,英国伦敦儿童医院曾报道在接受右胸切开术治疗继发性房间隔缺损(atrial septal defect,ASD)的青春期儿童中,膈神经损伤的发生率较正中切口显著增加^[10]。尽管北京安贞医院的Li等^[11]在回顾性研究中发现5 kg以内的婴儿行RALT安全有效,较SMS手术时间短,切口长度短,引流管和输血量少,但该研究缺少长期随访结果。RALT在婴幼儿的简单心脏畸形中的应用目前仍存在争议^[12]。近年来该术式在成人二尖瓣及三尖瓣手术中应用较多,在高危患儿二尖瓣和三尖瓣重建术中有明显优势^[13,14]。

(二)胸骨中线保留手术:胸骨下段小切口(lower mini-sternotomy,LMS)

LMS的发展主要得益于胸骨牵引器及套管的

改良、术中经食管超声心动图的应用^[15,16]。最初,该术式仅应用于ASD修补术等简单CHD的治疗。随着手术经验的积累,其用于VSD修补术、法洛氏四联征矫治术以及二尖瓣整形、大动脉转换术等复杂CHD的报道也越来越多^[17]。该手术方式较传统的SMS损伤小,可以保留胸骨柄、锁骨-胸骨关节的完整性,美容效果好,术后恢复快。但由于胸骨下段切口暴露范围小,升主动脉显露欠佳,可能导致术中插管较困难。成人可采用经股动脉插管,儿童因股动脉损伤可能性大,较少采用^[18]。采用心包牵拉悬吊可以增加手术暴露范围,有利于升主动脉插管。Garcia等^[17]通过对比研究,发现LMS较传统的SMS具有手术时间、体外循环时间和转流时间更长的缺点,但其早期拔管率高于SMS组,术后并发症更少。采用LMS术中如有意外情况,可适当向上延长切口,充分暴露手术视野,提高手术安全性。程伟等^[19]通过对比研究发现LMS与SMS相比手术时间和体外循环时间差异无统计学意义,LMS切口明显较小,术后胸骨畸形发生率明显降低;但LMS存在手术相对禁忌证,如法洛氏四联症、干下型VSD、主动脉关闭不全患儿。LMS在复杂CHD中的应用与术者经验及患儿自身条件密切相关。因幼儿较年长儿胸廓及肋骨有较多软骨结构,弹性较大,容易撑开,心血管结构通过小切口暴露较好,心脏距离胸骨更近,故胸骨下段小切口在幼儿应用最佳。有学者建议对2岁以内无症状ASD患儿可提早采用胸骨下段小切口手术治疗^[20]。

(三)右腋下垂直小切口入路手术(right vertical infraaxillary thoracotomy,RVIAT)

由于RALT及RSMT术后可能导致胸部和乳房发育不对称等并发症,使得其在儿童CHD中应用较少。由此我们改用胸骨下段部分切开术矫治CHD,虽然该术式美容效果优于胸骨全切术,但切口仍较明显。为了避免以上缺点,右腋下切口用于修补ASD或VSD逐渐得到了大家认可。

儿童胸廓弹性好,肋间肌肉薄弱,肋间隙明显,为右腋下小切口开胸术提供了良好的解剖基础^[8]。右腋下切口在我国主要采用RVIAT,但国外也有右腋下横切口的报道。RVIAT手术经右心房或右心室入路,可降低室性心律失常的发生率。伤口位于腋下,不超过腋前线,避免破坏胸肌及乳腺组织,保留了胸骨的完整性。避免胸肌发育不良及乳腺发育不对称等并发症^[21]。安徽医科大学第一附属医院的104例配对研究及山东省心脏病诊断与治疗重

点实验室的 836 例大样本病例研究均证实了经腋下切口肋间隙入路,肋骨及其两端附着点所受应力最小,该入路方式不仅可以避免肋骨断裂及肋软骨分离导致的肋骨和胸廓畸形,而且可以避免 SMS 造成的胸骨裂开、纵隔感染、术后鸡胸等并发症^[21,22]。Hafifze 等^[23]及胡传贤等^[24]分别通过对比研究,发现 RVIAT 较 SMS 手术创伤小,术中出血少,术后胸腔引流量少,ICU 滞留时间及术后住院时间短,恢复快,伤口小,可降低二次开胸风险。RVIAT 在简单先天性心脏病修补术中,安全可靠,伤口隐蔽、美观,减轻了患儿心理负担,较 SMS 有明显优势。

RVIAT 用于治疗心房水平及靠近房室交界区的病变安全可靠,功能和美容效果优于其他手术切口,与使用经皮介入技术所获得的手术效果相比,RVIAT 的疗效更确切,术后并发症更少^[20]。RVIAT 用于 VSD 尤其是膜周部的 VSD 暴露及手术效果良好,目前并无统一的经右腋下切口 VSD 修补术的最低年龄标准,随手术技术的成熟,低龄及低体重并不是右腋下切口的禁忌证。相反,低龄儿童由于胸部深度较浅和皮肤、胸部弹性较大,更易暴露^[25]。目前该切口已较多应用于儿童 ASD 及 VSD 修补术,亦可代替胸骨正中切口用于双侧动脉干下型 VSD 及部分房室间隔缺损修补术,具有安全可行,美容效果好等优点^[26,27]。但该术式也存在缺点,RVIAT 缩小了术野,心脏及大血管解剖位置显露欠佳,主动脉插管位置较正中切口深,手术难度相对较大,对术者手术技术要求较高。由于暴露相对较差,RVIAT 入路适用于 30 kg 以内的儿童,故不适用于成人。胸腔镜辅助的 RVIAT 手术可以增大暴露范围,扩大适用人群^[28]。此外,心脏左侧部位的畸形显露较为困难,因此不建议选择 RVIAT 进行心脏左侧的操作^[29]。

(四) 胸腔镜手术 (video-assisted thoracoscopic surgery, VATS)

以上微创切口为 CHD 微创手术的第一步,由于儿童开胸手术可能存在较多长期并发症,如脊柱侧凸、胸廓畸形、肩带异常、翼状肩、慢性疼痛综合征、乳房不对称等。为避免这些问题,VATS 逐渐用于治疗儿童先天性心外及心内疾病。

VATS 大多采用肋间小切口,可避免大肌肉群分离。在儿童心外疾病的治疗方面,早在 1991 年就有应用钛夹胸腔镜下关闭动脉导管成功的案例^[30]。在钛夹应用之前对 > 1 cm 的动脉导管未闭 (patent ductus arteriosus, PDA) 采用胸腔镜下结扎技术。早

在 1995 年, Burke 等^[31]即报道了采用 VATS 分离 8 例儿童/婴儿血管环获成功,仅有 1 例出现乳糜胸,无死亡病例。心外 VATS 还可用于结扎体肺动脉侧支分流,静脉侧支,奇静脉、胸导管、心包窗建立、主动脉固定术、永久性心外膜起搏器引线的放置^[20]。这些病例都较少见,目前并无可靠数据证明其可行性。

VATS 也可用于儿童心内疾病的治疗,目前仅用于 2 岁以上患儿的 ASD/VSD 修补术^[32]。心内 VATS 得益于体外循环和心肌保护策略的改良。相比 RVIAT 受年龄及体重限制较少,两者手术效果相当,VATS 切口总长度更小,RVIAT 有着更广泛的应用。非机器人辅助的全 VATS ASD/VSD 修补术是一种安全有效的手术方式,兼有良好的功能改善及美容效果^[16]。VATS 较机器人手术操作更简单,经济负担小,适用范围更广。此外,VATS 可用于导管封堵手术无法完成的病例,且总费用低于经导管封堵 ASD 或 VSD。手术时间、体外循环时间及主动脉阻断时间、术后残余分流发生率等均与 SMS 手术接近。随着手术技术的开发及手术经验的成熟,VATS 有较好的应用前景^[33]。

(五) 机器人辅助手术 (robotically assisted surgery, RAS)

胸腔镜手术是儿童微创心脏手术的第二步,然而胸腔镜心脏手术技术要求较高,容易出现并发症及安全问题。机器人辅助胸腔镜手术可以提高手术精准性,减小创伤,达到良好的美容效果。有文献报道机器人辅助胸腔镜的手术准确性提高了 50%^[34]。美国心脏协会认为机器人手术是 2002 年十大研究进展之一^[35]。早在 2002 年就有心外 RAS 的报道,如 PDA 结扎术、血管环分离^[36]。由于儿童胸廓面积小、肋间隙窄、体外循环要求较高、缝合所需时间较长以及缺血时间长等,限制了机器人辅助 VATS 手术在儿童中的应用。直到 2006 年才陆续有心内 RAS 的报道,且主要应用于成人 ASD 修补术^[37,38]。近年来,儿童全机械 ASD 修补术的报道逐渐增多,并显示出良好的手术效果^[39,40]。目前 RAS 还可应用于 VSD 及二尖瓣手术。由于 RAS 学习曲线陡峭,开始时手术熟练度不够,手术时间较心内直视手术无优势,但机器人在灵活度和精准性以及术中消除震颤、减少活动幅度等方面有明显优势,使得手术创伤小,术后恢复快,可缩短术后康复时间及住院时间^[20]。目前儿童心内 RAS 应用较少,主要因为手术技术及手术器械受限制,手术医生的

培养花费以及手术费用高昂,很少被儿科医生及家属所接受。

(六) 镶嵌手术

镶嵌技术又称杂交技术,是将微创心脏外科技术和心内介入技术相结合的混合手术方法。其优势在于术中广泛采用成像技术,如透视及不停跳下经食管超声心动图,以便术中及时调整,增加手术精确性及成功率。在儿童先天性心脏病中的应用主要是依靠单纯手术或介入技术不能完成的手术,或两者结合以减小手术创伤。目前可用于多发肌间 VSD、术中血流动力学影响大的 ASD、混合性姑息术治疗左心发育不良综合征及其他单心室畸形、术中支架置入术、混合肺动脉瓣置换术、经胸小切口单纯房室间隔缺损封堵术等^[41-43]。

镶嵌技术较传统外科手术创伤小,同时避免了介入手术路径复杂的缺点,特别是在低年龄、低体重、外周血管纤细、无法行介入治疗的患儿中具有明显优势。镶嵌技术可有效降低肌部 VSD 及合并其他疾病的复杂 ASD(如早产低体重儿合并肺支气管发育不良或脑出血等)的手术难度。同时,镶嵌技术具有导管路径短,操作简单,封堵确切,手术时间短,残余分流等术后并发症少等优点。此外,镶嵌技术还可用于混合单心室姑息术、替代诺伍德一期姑息术治疗左心发育不良综合征及其他单心室相关疾病^[44,45]。镶嵌技术在肺动脉球囊扩张和支架置入术治疗肺动脉分支远端狭窄,或修复先前植入的支架,缓解法洛氏四联症患儿的右室流出道梗阻等手术中亦有应用。其无需体外循环,可通过右室流出道穿刺进行手术,保留肺动脉瓣环的完整性及功能,从而避免法洛氏四联症患儿治疗早期出现的右心室功能障碍^[46,47]。

二、局限和展望

儿童 CHD 的微创手术最初是通过更小切口进行心脏修复的一种手段。现阶段的目标是在达到更好手术效果的基础上,利用各种方法减少手术的心理和身体创伤。显然,微创手术在各领域及疾病治疗的各阶段并非总是优于传统手术,在手术方式的选择上,需综合考虑具体手术的近远期疗效,从而制定最佳手术方案^[48,49]。虽然目前在儿童微创心脏病手术方面,我们已取得很大进步,但是未来仍面临艰难的挑战。对儿童心脏外科医生手术技术、手术器械及多学科合作方面的要求更高。如何在追求更小创伤的同时,达到最大的治疗效果仍值得我们深思。

参考文献

- 1 Dave HH, Comber M, Solinger T, et al. Mid-term results of right axillary incision for the repair of a wide range of congenital cardiac defects[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2009, 35(5): 864-870. DOI: 10.1016/j.ejcts.2009.01.022.
- 2 Braille DM, Evora P. The "rebirth" of the right anterolateral thoracotomy approach in cardiac surgery[J]. Braz J Cardiovasc Surg, 2018, 33(2): I-II. DOI: 10.21470/1678-9741-2018-0602.
- 3 Ding C, Wang C, Dong A, et al. Anterolateral minithoracotomy versus median sternotomy for the treatment of congenital heart defects: a meta-analysis and systematic review[J]. J Cardiothorac Surg, 2012, 7(1): 43. DOI: 10.1186/1749-8090-7-43.
- 4 Hong ZN, Chen Q, Lin ZW, et al. Surgical repair via submammary thoracotomy, right axillary thoracotomy and median sternotomy for ventricular septal defects[J]. J Cardiothorac Surg, 2018, 13(1): 47. DOI: 10.1186/s13019-018-0734-5.
- 5 Gil-Jaurena JM, Zabala JJ, Conejo L, et al. Minimally invasive pediatric cardiac surgery. Atrial septal defect closure through axillary and submammary approaches[J]. Rev Esp Cardiol, 2011, 64(3): 208-212. DOI: 10.1016/j.recesp.2010.08.009.
- 6 Vida VL, Tessari C, Fabozzo A, et al. The evolution of the right anterolateral thoracotomy technique for correction of atrial septal defects: cosmetic and functional results in prepubescent patients[J]. Ann Thorac Surg, 2013, 95(1): 242-247. DOI: 10.1016/j.athoracsurg.2012.08.026.
- 7 Cingoz F, Tavlasoglu M, Sahin MA, et al. Minimally invasive pediatric surgery in uncomplicated congenital heart disease[J]. Asian Cardiovasc Thorac Ann, 2013, 21(4): 414-417. DOI: 10.1177/0218492312454669.
- 8 Bleiziffer S, Schreiber C, Burgkart R, et al. The influence of right anterolateral thoracotomy in prepubescent female patients on late breast development and on the incidence of scoliosis[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2004, 127(5): 1474-1480. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2003.11.033.
- 9 Kaito T, Shimada M, Ichikawa H, et al. Prevalence of and predictive factors for scoliosis after surgery for congenital heart disease in the first year of life[J]. JB JS Open Access, 2018, 3(1): e45. DOI: 10.2106/JBJS.OA.17.00045.
- 10 Helps BA, Ross-Russell RI, Dicks-Mireaux C, et al. Phrenic nerve damage via a right thoracotomy in older children with secundum ASD[J]. Ann Thorac Surg, 1993, 56(2): 328-330. DOI: 10.1016/0003-4975(93)91170-R.

- 11 Li G, Su J, Fan X, et al. Safety and efficacy of ventricular septal defect repair using a cosmetic shorter right lateral thoracotomy on infants weighing less than 5 kg [J]. *Heart Lung Circ*, 2015, 24 (9) : 898–904. DOI: 10.1016/j.hlc.2015.02.010.
- 12 Naimo PS, Konstantinov IE. Small incisions for small children: is right lateral thoracotomy a right approach in open heart surgery in infants? [J]. *Heart Lung Circ*, 2016, 25 (2) : 104–106. DOI: 10.1016/j.hlc.2015.07.005.
- 13 Cao H, Zhou Q, Fan F, et al. Right anterolateral thoracotomy: an attractive alternative to repeat sternotomy for high-risk patients undergoing reoperative mitral and tricuspid valve surgery [J]. *J Cardiothorac Surg*, 2017, 12 (1) : 85. DOI: 10.1186/s13019-017-0645-x.
- 14 Mkalaluh S, Szczechowicz M, Dib B, et al. Early and long-term results of minimally invasive mitral valve surgery through a right mini-thoracotomy approach: A retrospective propensity-score matched analysis [J]. *Peer J*, 2018, 6 (2) : e4810. DOI: 10.7717/peerj.4810.
- 15 Black MD, Freedom RM. Minimally invasive repair of atrial septal defects [J]. *Ann Thorac Surg*, 1998, 65 (3) : 765–767. DOI: 10.1016/s0003-4975(97)01241-1.
- 16 Gil-Jaurena JM, Gonzalez-Lopez MT, Perez-Caballero R, et al. 15 years of minimally invasive paediatric cardiac surgery: development and trends [J]. *An Pediatr (Barc)*, 2016, 84 (6) : 304–310. DOI: 10.1016/j.anpedi.2015.06.007.
- 17 Garcia VM, Cardenas I, Loyola H, et al. Lower mini-sternotomy in congenital heart disease: just a cosmetic improvement? [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2015, 21 (3) : 374–378. DOI: 10.1093/icvts/ivv163.
- 18 Williams PH, Bhatnagar NK, Wisheart JD. Compartment syndrome in a five-year-old child following femoral cannulation for cardiopulmonary bypass [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 1989, 3 (5) : 474–475. DOI: 10.1016/1010-7940(89)90062-6.
- 19 程伟,肖颖彬,陈林,等. 胸骨下段切口心脏不停跳技术在儿童先心病心内直视手术中的应用 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2016, 15 (3) : 235–237. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2016.03.009.
Cheng W, Xiao YB, Chen L, et al. Application of lower sternal incision with on-pump beating heart intracardiac procedures in children of congenital heart disease [J]. *J Clin Ped Sur*, 2016, 15 (3) : 235–237. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2016.03.009.
- 20 Bacha E, Kalfa D. Minimally invasive paediatric cardiac surgery [J]. *Nat Rev Cardiol*, 2014, 11 (1) : 24–34. DOI: 10.1038/nrcardio.2013.168.
- 21 Pretre R, Kadner A, Dave H, et al. Right axillary incision: a cosmetically superior approach to repair a wide range of congenital cardiac defects [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2005, 130 (2) : 277–281. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2005.03.023.
- 22 An G, Zhang H, Zheng S, et al. Mid-term outcomes of common congenital heart defects corrected through a right subaxillary thoracotomy [J]. *Heart Lung Circ*, 2017, 26 (4) : 376–382. DOI: 10.1016/j.hlc.2015.05.028.
- 23 Yaliniz H, Topcuoglu MS, Gocen U, et al. Comparison between minimal right vertical infra-axillary thoracotomy and standard median sternotomy for repair of atrial septal defects [J]. *Asian J Surg*, 2015, 38 (4) : 199–204. DOI: 10.1016/j.asjsur.2015.01.008.
- 24 Hu CX, Tan J, Chen S, et al. Comparison of clinical outcomes and postoperative recovery between two open heart surgeries: minimally invasive right subaxillary vertical thoracotomy and traditional median sternotomy [J]. *Asian Pac J Trop Med*, 2014, 7 (8) : 625–629. DOI: 10.1016/S1995-7645(14)60105-X.
- 25 Silva LF, Silva JP, Turquette AL, et al. Horizontal right axillary minithoracotomy: aesthetic and effective option for atrial and ventricular septal defect repair in infants and toddlers [J]. *Rev Bras Cir Cardiovasc*, 2014, 29 (2) : 123–130. DOI: 10.5935/1678-9741.20140028.
- 26 Yang X, Wang D, Wu Q. Repair of partial atrioventricular septal defect through a minimal right vertical infra-axillary thoracotomy [J]. *J Card Surg*, 2003, 18 (3) : 262–264. DOI: 10.1111/j.1540-8191.2002.tb01208.x.
- 27 An G, Zhang H, Zheng S, et al. Minimally invasive surgical closure for doubly committed subarterial ventricular septal defects through a right subaxillary thoracotomy [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2016, 23 (6) : 924–928. DOI: 10.1093/icvts/ivw255.
- 28 Zhang Q, Zhou ZC, Lin M, et al. Thoracoscope-assisted right vertical infra-axillary mini-incision for cardiac surgery [J]. *Heart Lung Circ*, 2015, 24 (6) : 590–594. DOI: 10.1016/j.hlc.2014.11.020.
- 29 Nguyen K, Chin C, Lee DS, et al. The axillary incision: a cosmetic approach in congenital cardiac surgery [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2007, 134 (5) : 1358–1360. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2007.06.033.
- 30 Laborde F, Noirhomme P, Karam J, et al. A new video-assisted thoracoscopic surgical technique for interruption of patient ductus arteriosus in infants and children [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1993, 105 (2) : 278–280. DOI: 10.1109/ATEE.2015.7133758.
- 31 Burke RP, Rosenfeld HM, Wernovsky G, et al. Video-assisted thoracoscopic vascular ring division in infants and chil-

- dren[J]. J Am Coll Cardiol, 1995, 25(4): 943-947. DOI: 10.1016/0735-1097(94)00461-X.
- 32 Sabate RA, Burkhart HM, Suri RM, et al. Minimally invasive video-assisted surgical closure of atrial septal defects: a safe approach[J]. World J Pediatr Congenit Heart Surg, 2014, 5(4): 527-533. DOI: 10.1177/2150135114542166.
 - 33 Liu G, Qiao Y, Ma L, et al. Totally thoracoscopic surgery for the treatment of atrial septal defect without of the robotic Da Vinci surgical system[J]. J Cardiothorac Surg, 2013, 8(1): 119. DOI: 10.1186/1749-8090-8-119.
 - 34 Moorthy K, Munz Y, Dosis A, et al. Dexterity enhancement with robotic surgery[J]. Surg Endosc, 2004, 18(5): 790-795. DOI: 10.1007/s00464-003-8922-2.
 - 35 Pike NA, Gundry SR. Robotically assisted cardiac surgery: minimally invasive techniques to totally endoscopic heart surgery[J]. J Cardiovasc Nurs, 2003, 18(5): 382-388. DOI: 10.1097/00005082-200311000-00010.
 - 36 Le Bret E, Papadatos S, Folliquet T, et al. Interruption of patent ductus arteriosus in children: robotically assisted versus videothoracoscopic surgery[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2002, 123(5): 973-976. DOI: 10.1067/mtc.2002.121049.
 - 37 Bonaros N, Schachner T, Oehlinger A, et al. Robotically assisted totally endoscopic atrial septal defect repair: insights from operative times, learning curves, and clinical outcome[J]. Ann Thorac Surg, 2006, 82(2): 687-693. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2006.03.024.
 - 38 Gao C, Yang M, Wang G, et al. Totally robotic resection of myxoma and atrial septal defect repair[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2008, 7(6): 947-950. DOI: 10.1510/icvts.2008.185991.
 - 39 Dang QH, Le NT, Nguyen CH, et al. Totally endoscopic cardiac surgery for atrial septal defect repair on beating heart without robotic assistance in 25 patients[J]. Innovations (Phila), 2017, 12(6): 446-452. DOI: 10.1097/IMI.0000000000000436.
 - 40 Xiao C, Gao C, Yang M, et al. Totally robotic atrial septal defect closure: 7-year single-institution experience and follow-up[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2014, 19(6): 933-937. DOI: 10.1093/icvts/ivu263.
 - 41 Bacha EA, Hijazi ZM. Hybrid procedures in pediatric cardiac surgery[J]. Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu, 2005, 8(1): 78-85. DOI: 10.1053/j.pcsu.2005.01.001.
 - 42 Bearl DW, Fleming GA. Utilizing hybrid techniques to maximize clinical outcomes in congenital heart disease[J]. Curr Cardiol Rep, 2017, 19(8): 72. DOI: 10.1007/s11886-017-0878-2.
 - 43 Bacha EA, Marshall AC, McElhinney DB, et al. Expanding the hybrid concept in congenital heart surgery[J]. Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu, 2007: 146-150. DOI: 10.1053/j.pcsu.2007.01.019.
 - 44 Contrafouris CA, Mitropoulos FA, Chatzis AC, et al. Hybrid procedures for complex congenital cardiac lesions[J]. Heart Surg Forum, 2009, 12(3): E155-E157. DOI: 10.1532/HSF98.20091044.
 - 45 Cheatham SL, Deyo GM. Understanding the Hybrid Stage I Approach for Hypoplastic Left Heart Syndrome[J]. Crit Care Nurse, 2016, 36(5): 48-55. DOI: 10.4037/ccn2016894.
 - 46 Mitropoulos FA, Laks H, Kapadia N, et al. Intraoperative pulmonary artery stenting: an alternative technique for the management of pulmonary artery stenosis[J]. Ann Thorac Surg, 2007, 84(4): 1338-1342. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2007.04.121.
 - 47 Vida VL, Padalino MA, Maschietto N, et al. The balloon dilation of the pulmonary valve during early repair of tetralogy of Fallot[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2012, 80(6): 915-921. DOI: 10.1002/ccd.24349.
 - 48 Ramirez PT, Frumovitz M, Pareja R, et al. Minimally invasive versus abdominal radical hysterectomy for cervical cancer[J]. N Engl J Med, 2018, 379(20): 1895-1904. DOI: 10.1056/NEJMoa1806395.
 - 49 Melamed A, Margul DJ, Chen L, et al. Survival after minimally invasive radical hysterectomy for early-stage cervical cancer[J]. N Engl J Med, 2018, 379(20): 1905-1914. DOI: 10.1056/NEJMoa1804923.

(收稿日期: 2018-11-25)

本文引用格式:任璐璐, 沈立. 微创手术治疗儿童先天性心脏病的应用进展[J]. 临床小儿外科杂志, 2020, 19(10): 943-948. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2020.10.016.

Citing this article as: Ren LL, Shen L. Recent advances of mini-invasive pediatric cardiac surgery[J]. J Clin Ped Sur, 2020, 19(10): 943-948. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2020.10.016.