

## ·专题·复杂危重先心病的外科治疗·

## 主动脉缩窄手术后再狭窄的研究进展

李志敏 综述 李晓峰 审校



全文二维码



开放科学码

**【摘要】** 对于婴幼儿主动脉缩窄,目前已有成熟的手术技术,且方法多样,临床上会根据具体病理解剖特点及患者情况选择合适的手术方法。但数年甚至数十年后发生的晚期并发症仍然影响着患者的预后。本文着重阐述主动脉缩窄患者手术后再狭窄的研究进展,包括可能的原因、预测手段、再狭窄的临床表现及影像学表现、目前主要治疗方式,为改善主动脉缩窄患者临床预后提供一些思路。

**【关键词】** 主动脉缩窄/外科学;手术后并发症;治疗结果

**【中图分类号】** R541 R459.51 R726.1

**Research advances of recoarctation after repairing coarctation of the aorta.** Li Zhimin, Li Xiaofeng. Department of Cardiothoracic Surgery, Affiliated Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, Beijing 100045, China. Corresponding author: Li Xiaofeng, Email: doctorlzm2020@163.com

**【Abstract】** Nowadays diverse pediatric surgical techniques of repairing coarctation of the aorta have gradually matured in clinical practices. According to specific characteristic of pathological anatomy and patient conditions, surgeons may select an ideal approach. However, late postoperative complications affect prognosis. This review focused upon the latest research findings of postoperative recoarctation for children undergoing repairing coarctation of the aorta, including probable causes, predicting methods, clinical manifestations, imaging findings and major interventions. It may help to improve the prognosis of children with recoarctation.

**【Key words】** Aortic Coarctation/SU; Postoperative Complications; Treatment Outcome

主动脉缩窄(coarctation of the aorta, CoA)是小儿常见的先天性心脏病,在西方国家中发病率较高,约占先天性心脏病的5%,东方国家发病率较低,占先天性心脏病的1.1%~3.4%<sup>[1]</sup>。其发病原因尚不清楚,目前有三种理论:①胚胎发育异常;②子宫内血流减少,导致主动脉发育不全;③主动脉壁的动脉导管组织异常,于出生后动脉导管组织消退后压迫峡部主动脉腔<sup>[2]</sup>。此外,从基因学角度,现已发现 *NOTCH1* 基因在心脏发育和血管生成中起重要作用<sup>[3]</sup>。根据缩窄部位不同,可将 CoA 分为导管前型(婴儿型)和导管后型或称近导管型(成人型)。导管前型多见于婴幼儿,一般动脉导管呈开放状态,侧支循环较少。导管后型(或称近导管型)多见于青少年或成年人,动脉导管多已闭合,侧支循环丰富。而侧支血管多起源于锁骨下动脉,通过肋间动脉、腹壁下动脉、肩胛下动脉向降主动脉供血<sup>[4]</sup>。目前对于儿童 CoA 患者,外科手术仍然是

主要治疗手段。虽然多数患者预后良好,但仍有部分患者手术后会再狭窄(包括残留狭窄)。关于 CoA 手术后再狭窄的发生率,不同学者报道不一,多介于5%~30%。手术后再狭窄是 CoA 患者随访期间最常见的再干预指征<sup>[5,6]</sup>。现就 CoA 手术后再狭窄的研究进展综述如下。

### 一、CoA 手术后再狭窄原因

关于 CoA 手术后再狭窄的具体原因,目前学者认为包括有以下几种:

1. 手术年龄:曾有学者认为手术年龄越小(尤其6月龄以下患者),残留狭窄或复发再狭窄的可能性越大。但近年来越来越多的研究表明,手术时低年龄已不再作为再狭窄的预测因素。诸多研究均表明低年龄并不会增加手术后再狭窄的风险<sup>[7-9]</sup>。甚至早在 Maia 等<sup>[10]</sup>的研究中已提出,出生后1年内行手术治疗者仅5%~5.9%的再狭窄发生率,且随着外科技术和缝线类型的改进,再狭窄的发生率逐渐降低。

2. 手术方式及手术入路:Dodge-Khatami 等<sup>[11]</sup>研究显示,Gore-tex 补片主动脉成形术、单纯的狭窄切除加端端吻合术以及锁骨下动脉翻转成形术治疗

DOI:10.12260/lcxewkzz.2021.06.008

作者单位:国家儿童医学中心,首都医科大学附属北京儿童医院心脏外科(北京市 100045)

通信作者:李晓峰, Email: doctorlzm2020@163.com

CoA 均有较高的再狭窄发生率,因而建议对所有新生儿 CoA 行扩大端端吻合术(resection and extended end-to-end anastomosis, REEEA)。Tulzer 等<sup>[7]</sup>也推荐对于 CoA 合并主动脉弓发育不良的患者行 REEEA,但手术入路应慎重选择。合并需要同期矫治的心内畸形时,临床上多数需要经胸骨正中切口建立心肺转流的条件下实施同期矫治。如果不合并心内畸形或合并轻度心内畸形无需矫治的,临床上多选择非体外循环下左侧开胸入路手术。但是对于横弓 Z 分数 < -4.59 的患者,即使不合并心内畸形,也应行 CPB 下胸骨正中切口入路修复手术,而不应经左侧开胸入路手术。这是因为左侧开胸入路的手术视野有限,对发育不良的横弓可能会处理不完善,术后容易再狭窄。Gropler 等<sup>[12]</sup>研究认为即使伴有横弓发育不良,通过左侧开胸 REEEA 修复 CoA 的病死率及再手术干预率仍然较低,是最佳手术方案。但对于远端横弓 Z 分数 < -2.8,近端横弓 Z 分数 < -4.1 的患者,应行胸骨正中切开手术。

3. 球囊血管扩张术:曾有学者建议对 CoA 患者首次手术采用经皮球囊血管扩张术,但随后的研究表明,首次手术采用球囊扩张术的 CoA 患者术后再次狭窄发生率较高。如 Dijkema 等<sup>[13]</sup>比较了球囊血管扩张术和外科手术治疗 CoA 的长期效果,发现行球囊血管扩张术后的患者有更高的再狭窄发生率及再手术干预率,因此不推荐球囊血管扩张术用于治疗儿童 CoA。吴雨昊等<sup>[14]</sup>曾进行了一项关于球囊血管扩张术与外科手术治疗 CoA 疗效的 Meta 分析,结果显示与球囊血管扩张术相比,外科手术可降低再狭窄发生率、再狭窄的再手术干预率以及中远期随访中的残余压差。球囊血管扩张术相对于外科手术的优势在于缩短了住院时间。两种手术方法在术后动脉瘤形成、围术期死亡、并发症发生率、术后即刻残余压差方面均未见统计学差异。因此建议对于儿童 CoA 患者首选手术治疗,而球囊血管扩张术作为术后再狭窄的治疗方式。

4. 主动脉弓发育不全:约有 60%~80% 的 CoA 患者合并主动脉弓发育不全<sup>[15]</sup>。关于主动脉弓发育不全的标准有以下几种:二十世纪七十年代 Moulart 等<sup>[16]</sup>对解剖学标本进行研究发现,通过比较主动脉弓近端、主动脉弓远端和主动脉峡部的直径与升主动脉直径,定义了“近弓直径小于升主动脉直径的 60%、远弓直径小于升主动脉直径的 50%、峡部直径小于升主动脉直径的 40% 即可认为弓发育不全”这一概念。Karl<sup>[17]</sup>认为弓发育不全的定义是主动脉弓

最小尺寸(mm)小于患者体重(kg)+1。Brouwer 等<sup>[18]</sup>提出 Z 值的定义,即[(测量直径-同体重组正常值)÷同体重组正常值的标准差]<2,即认为主动脉弓发育不全。Langley 等<sup>[19]</sup>提出横弓直径小于降主动脉直径的 50%,即认为主动脉弓发育不全。目前,先天性心脏病数据库采用的分类标准由 Moulart 等提出。IJsselhof 等<sup>[8]</sup>研究表明合并主动脉弓发育不全可能有更高的再手术干预风险。Dias 等<sup>[20]</sup>研究也证明了再狭窄的主要决定因素是较小的主动脉弓和球囊血管扩张术,而病死率的决定因素是手术时低体重。Costopoulos 等<sup>[15]</sup>认为对于合并主动脉弓发育不全的 CoA 患者,胸骨正中切开入路可降低手术后再干预率及 2.5 kg 以下患者的手术病死率。Gray<sup>[21]</sup>研究表明通过胸骨正中切开行主动脉弓重建术治疗 CoA 合并近弓发育不良可以获得良好结局。

5. 术中修补材料的使用:Bechtold 等<sup>[22]</sup>研究发现经戊二醛处理的自体心包补片在双心室形态的新生儿主动脉弓修复中应用,可增加再狭窄和主动脉弓介入治疗的概率。可能的原因是这种补片材料可收缩而阻碍自体组织的自然生长,并可能在将来形成狭窄。因而不建议使用经戊二醛处理的自体心包补片作为修补材料。既往有术者选择人造补片(包括涤纶补片或者 Gore-tex 补片)进行主动脉弓成形术。但有研究表明人工材料补片不具备正常血管弹性,术后血管壁张力不均,晚期易形成动脉瘤,且手术后再狭窄发生率也较高<sup>[23]</sup>。还有学者认为,对于主动脉弓降部病变,应用自体肺动脉壁作为补片材料是最理想的<sup>[24]</sup>。徐海涛等<sup>[25]</sup>通过比较心包补片和肺动脉补片治疗婴幼儿 CoA 合并主动脉弓发育不全的疗效,术后中期随访发现,采取肺动脉补片者稍优于心包补片者。

此外,最近研究表明,新生儿期 CoA 患者手术前使用前列腺素 E 也被视为手术后再狭窄的危险因素。Lehnert 等<sup>[26]</sup>报道了 530 例 CoA 患者外科手术修复结果,其中 61 例出现再狭窄或残余狭窄。进一步多变量分析显示手术年龄 < 15 d 和手术前使用前列腺素 E 是再狭窄和残余狭窄的危险因素。而这两个因素可能存在内在联系,因为只有新生儿才会在 CoA 手术前接受前列腺素 E 治疗。分析其原因可能是使用前列腺素 E 会改变主动脉解剖结构,掩盖切除的边界。

## 二、CoA 手术后再狭窄或残留狭窄的诊断

①症状:高血压以及所诱发的头痛,运动力减弱,下肢疲劳,跛行,鼻出血。②体征:心前区连续

性杂音,视网膜病变,股动脉搏动减弱或消失,下肢体温降低。其他可表现为左室肥厚,心律失常,心力衰竭,感染性心内膜炎,主动脉夹层或破裂,颅内出血。③超声检查:有学者提出超声检查可以用来预测 CoA 手术后再狭窄。如 Adamson 等<sup>[27]</sup>提出狭窄指数(coarctation index)或许可以用来预测主动脉弓手术如 Norwood 手术及 CoA 手术后的再狭窄。狭窄指数是指手术后超声心动图显示最窄主动脉弓段的直径与降主动脉的直径之比狭窄指数 $<0.7$ ,提示术后需要密切随访,以监测复发性的主动脉梗阻以及左室功能不全。也有学者提出术后超声心动图上峰值速度 $\geq 2.5$  m/s 与再干预风险显著增高相关<sup>[28]</sup>。此外,再狭窄的超声心动图一般表现为狭窄近远端峰值多普勒梯度 $>20$  mmHg;狭窄近远端峰值速度 $>3.5$  m/s。④增强 CT 检查:利用增强 CT 的重建特性可以清晰显示再狭窄的部位及程度。对于可能存在异常弓支、弥漫性或复杂弓发育不全或异常的弓形态,或超声不能完全明确的患者,可考虑采用 CT 血管成像<sup>[29]</sup>。⑤MRI 检查:可以清晰显示主动脉结构。缺点主要是检查时间较长,对患者镇静要求较高,仅适用于年龄较大且能配合者,且费用较高,目前暂不做为首选诊断方法。⑥介入造影检查:既可准确测量狭窄近远端的压力梯度,又可明确狭窄部位。目前多被增强 CT 检查所替代,主要用于手术后再狭窄的介入治疗。

诊断依据:出现上述临床表现,臂-腿收缩压梯度 $>20$  mmHg,结合辅助检查如超声心动图峰值多普勒梯度 $>20$  mmHg;峰值速度 $>3.5$  m/s。CT 重建一般可清晰显示狭窄段。心导管介入造影显示修复区域的大小与降主动脉相比减小 50% 以上或狭窄近远端的峰值梯度 $>20$  mmHg。

### 三、CoA 手术后再狭窄或残留狭窄的治疗

1. 球囊血管扩张术:曾有作者<sup>[30]</sup>建议将球囊血管成形术作为主动脉手术后再狭窄的首选治疗方法,尤其是在年轻患者中,可以取得良好的效果。然而,球囊血管扩张术治疗长段再狭窄、迂曲性狭窄和复杂的主动脉弓梗阻效果并不令人满意,而且仍可能存在明显的压力梯度。狭窄节段的过度扩张和过大的球囊可导致严重并发症,如急性并发症主动脉夹层、内膜破裂、撕裂(1%~7%)、脑血管意外( $<1\%$ )和死亡(0%~2%);其他并发症包括球囊破裂和局部动脉损伤<sup>[31]</sup>。虽然球囊血管扩张术后血管直径增大,但纤维瘢痕组织可在数月内形成,导致反弹和再狭窄,远期可形成动脉瘤<sup>[32]</sup>。

2. 支架植入术:球囊血管扩张术通常是再狭窄的推荐治疗方法,且成功率高,但在管状、复杂解剖及球囊扩张后弹性回缩,效果可能不满意。支架植入术可作为一种补充选择。Brzezinska-Rajszy<sup>[33]</sup>认为经皮支架植入术对于再狭窄及部分 CoA 患者能够在较低年龄患者中成功施行,且中期效果良好。不足之处是可能需要重复进行支架重建和进一步的介入性干预,用更大的支架或外科修复,以使主动脉逐渐增加到成人大小。大多数儿童介入治疗专家建议对大龄儿童和青少年行狭窄支架植入术,以避免较低年龄儿童长大后需要再行主动脉支架植入术。对于更复杂的狭窄解剖结构,包括横弓发育不全和 Norwood 手术后的弓阻塞,支架植入仍可作为一项可行的解决方案;甚至既往有轻度原发狭窄而无需手术治疗的患者也可考虑该方法,但目前仍存在争议。因为狭窄的治疗会增加主动脉夹层的风险<sup>[34]</sup>。

3. 再次开胸手术:年龄较大的儿童 CoA 患者常表现为既往经导管或外科治疗后再狭窄或漏诊的原发性狭窄。Benomrane 等<sup>[35]</sup>回顾了 3 例青少年 CoA 患者,均经左后外侧切口行左锁骨下降主动脉旁路移植术。3 例术后顺利出院,未观察到残余肱踝压力梯度,CoA 均保持良好状态。故认为对于青少年主动脉狭窄的外科治疗,当需要桥接的距离过长而无法进行端端修复时,可通过端端吻合的切除、移植或旁路移植跨越狭窄区域来实现。锁骨下动脉降主动脉旁路移植术在青少年患者,特别是复杂狭窄患者中有良好的效果。再手术治疗的并发症包括乳糜胸、声音嘶哑、出血和继发性脊柱侧凸。上述并发症可能导致住院时间延长。先前有学者提出再手术后,再发狭窄的发生率依然很高。如果存在一个长段的再狭窄,可能无法进行狭窄切除后端端吻合术,需要使用导管移植连接狭窄段两端。然而,对于年龄较小的患者来说,可能需要多次导管移植物的替换。因此,年龄小的 CoA 患者如果采用这种治疗方法,以后还需要接受多次手术。关于 CoA 手术后再狭窄的再干预治疗,有学者研究显示对轻度再狭窄或梗阻进行再干预有较好的效果,主要是解剖上解除了主动脉最小直径,临床上减少了与主动脉弓梗阻相关的症状,提高中期的运动能力。其次可改善患者的血压;但是对已形成的左室肥厚没有明显改善<sup>[6]</sup>。

### 四、预防

1. 手术年龄:过去认为 CoA 患者若无明显症状,4~6 岁时进行手术较为适宜,因此时主动脉直



径已发育到最大直径的 50%，术后再狭窄可能性较小。但有资料表明，CoA 患者术后远期高血压的发生与手术年龄呈正相关，3 岁以前进行手术，术后持续高血压的发生率较低。因此，目前仍认为 CoA 患者应尽早手术。

2. 手术方式及手术入路：对于单纯 CoA 患者，目前临床倾向于侧开胸以减少体外循环对患者的影响，但同时要考虑主动脉弓发育状况。多数学者建议行扩大端端吻合术。若侧开胸无法满意处理弓发育不良，则应行胸骨正中开胸。如果合并弓发育不良，可以考虑行主动脉弓成形术。对于 CoA 合并心内畸形者，通常选择正中开胸手术同时治疗。

3. 术中使用材料：应尽量避免使用补片材料。对于合并弓发育不良的患者，确需使用修补材料时，肺动脉补片或许能够降低再狭窄发生率。此外，应重新考虑使用前列腺素的方式，以更好地指导外科修复。

综上，主动脉缩窄手术后再狭窄或残留狭窄仍然是临床医生的巨大挑战。术前详细评估患者的病情特征，选择合适的手术方式及手术入路，术后密切监测患者恢复情况，对于有再缩窄高危因素的患者做到密切随访，一旦出现再缩窄，应选择合适的方式尽早干预。建议采用球囊血管扩张术或外科手术治疗婴幼儿 CoA。对于再狭窄年龄超过 10~12 岁的患者，与单纯的手术或球囊血管扩张术相比，血管内支架置入术可获得更好的长期疗效。然而，支架手术在技术上要求很高，应该在有经验的医疗中心进行。

## 参考文献

- 1 丁文祥, 苏肇伉. 现代小儿心脏外科学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2013, 399-405.  
Ding WX, Su ZK. Modern Pediatric Cardiac Surgery[M]. Jinan: Shandong Science & Technology Publishing House, 2013, 399-405.
- 2 Dijkema EJ, Leiner T, Grotenhuis HB. Diagnosis, imaging and clinical management of aortic coarctation[J]. Heart, 2017, 103(15): 1148-1155. DOI: 10.1136/heartjnl-2017-311173.
- 3 Freylikhman O, Tatarinova T, Smolina N, et al. Variants in the NOTCH1 gene in patients with aortic coarctation[J]. Congenit Heart Dis, 2014, 9(5): 391-396. DOI: 10.1111/chd.12157.
- 4 Fox EB, Latham GJ, Ross FJ, et al. Perioperative and anesthetic management of coarctation of the aorta[J]. Semin Cardiothorac Vasc Anesth, 2019, 23(2): 212-224. DOI: 10.1177/1089253218821953.
- 5 Saxena A. Recurrent coarctation: interventional techniques and results[J]. World J Pediatr Congenit Heart Surg, 2015, 6(2): 257-265. DOI: 10.1177/2150135114566099.
- 6 Grøndahl C, Pedersen TA, Hjortdal VE. The medium-term effects of treatment for mild aortic recoarctation[J]. World J Pediatr Congenit Heart Surg, 2017, 8(1): 55-61. DOI: 10.1177/2150135116668334.
- 7 Tulzer A, Mair R, Kreuzer M, et al. Outcome of aortic arch reconstruction in infants with coarctation: Importance of operative approach[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2016, 152(6): 1506-1513. e1. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2016.08.029.
- 8 IJsselhof R, Liu H, Pigula F, et al. Rates of interventions in isolated coarctation repair in neonates versus infants: does age matter? [J]. Ann Thorac Surg, 2019, 107(1): 180-186. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2018.07.016.
- 9 高晓音, 吴春. 主动脉缩窄的治疗进展[J]. 临床小儿外科杂志, 2014, 13(6): 557-559. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2014.06.028.  
Gao XY, Wu C. Recent advances in the treatment of aortic coarctation[J]. J Clin Ped Sur, 2014, 13(6): 557-559. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2014.06.028.
- 10 Maia MM, Aiello VD, Barbero-Marcial M, et al. Coarctation of the aorta corrected during childhood. Clinical aspects during follow-up[J]. Arq Bras Cardiol, 2000, 74(2): 167-180. DOI: 10.1590/s0066-782x2000000200008.
- 11 Dodge-Khatami A, Backer CL, Mavroudis C. Risk factors for recoarctation and results of reoperation: a 40-year review[J]. J Card Surg, 2000, 15(6): 369-377. DOI: 10.1111/j.1540-8191.2000.tb01295.x.
- 12 Gropler MRF, Marino BS, Carr MR, et al. Long-term outcomes of coarctation repair through left thoracotomy[J]. Ann Thorac Surg, 2019, 107(1): 157-164. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2018.07.027.
- 13 Dijkema EJ, Sieswerda GT, Takken T, et al. Long-term results of balloon angioplasty for native coarctation of the aorta in childhood in comparison with surgery[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2018, 53(1): 262-268. DOI: 10.1093/ejcts/ezx239.
- 14 吴雨昊, 辛良靖, 周悦航, 等. 球囊扩张术与外科手术治疗儿童主动脉缩窄疗效的 Meta 分析[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(10): 1005-1012. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2019.10.013.  
Wu YH, Xing LJ, Zhou YH, et al. Efficacy comparison between balloon angioplasty versus surgery in children with coarctation of the aorta: a Meta-analysis[J]. Chinese Circu-

- lation Journal, October, 2019, 34 ( 10 ) : 1005 – 1012. DOI: 10.3969/j.issn1000-3614.2019.10.013.
- 15 Costopoulos K, Philip J, Lopez-Colon D, et al. A single centre experience with an evolving approach for the repair of coarctation of the aorta [ J ]. *Cardiol Young*, 2019, 29 ( 7 ) : 885–887. DOI:10.1017/S104795111900101X.
  - 16 Moolaert AJ, Bruins CC, Oppenheimer-Dekker A. Anomalies of the aortic arch and ventricular septal defects [ J ]. *Circulation*, 1976, 53 ( 6 ) : 1011 – 1015. DOI:10.1161/01.cir.53.6.1011.
  - 17 Karl TR, Sano S, Brawn W, et al. Repair of hypoplastic or interrupted aortic arch via sternotomy [ J ]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1992, 104 ( 3 ) : 688–695.
  - 18 Brouwer MH, Cromme-Dijkhuis AH, Ebels T, et al. Growth of the hypoplastic aortic arch after simple coarctation resection and end-to-end anastomosis [ J ]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1992, 104 ( 2 ) : 426–433.
  - 19 Langley SM, Sunstrom RE, Reed RD, et al. The neonatal hypoplastic aortic arch: decisions and more decisions [ J ]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu*, 2013, 16 ( 1 ) : 43–51. DOI:10.1053/j.pcsu.2013.01.008.
  - 20 Dias MQ, Barros A, Leite-Moreira A, et al. Risk factors for re-coarctation and mortality in infants submitted to aortic coarctation repair: a systematic review [ J ]. *Pediatr Cardiol*, 2020, 41 ( 3 ) : 561–575. DOI:10.1007/s00246-020-02319-w.
  - 21 Gray WH, Wells WJ, Starnes VA, et al. Arch augmentation via median sternotomy for coarctation of aorta with proximal arch hypoplasia [ J ]. *Ann Thorac Surg*, 2018, 106 ( 4 ) : 1214 – 1219. DOI:10.1016/j.athoracsur.2018.04.025.
  - 22 Bechtold C, Purbojo A, Schwitulla J, et al. Aortic arch reconstruction in neonates with biventricular morphology: increased risk for development of recoarctation by use of autologous pericardium [ J ]. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 63 ( 5 ) : 373–379. DOI:10.1055/s-0034-1396532.
  - 23 Brown ML, Burkhart HM, Connolly HM, et al. Late outcomes of reintervention on the descending aorta after repair of aortic coarctation [ J ]. *Circulation*, 2010, 122 ( 11Suppl ) : S81 – S84. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.109.925172.
  - 24 Roussin R, Belli E, Lacour-Gayet F, et al. Aortic arch reconstruction with pulmonary autograft patch aortoplasty [ J ]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2002, 123 ( 3 ) : 443–450. DOI: 10.1067/mtc.2002.120733.
  - 25 徐海涛, 王强, 李巅远, 等. 心包补片和肺动脉补片治疗婴幼儿主动脉缩窄合并主动脉弓发育不良的疗效比较 [ J ]. *中国循环杂志*, 2016, 31 ( 3 ) : 280 – 284. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2016.03.018.
  - Xu HT, Wang Q, Li DY, et al. Comparative study of autologous pericardium patch and pulmonary patch for treating aortic coarctation with hypoplastic aortic arch in infants and toddlers [ J ]. *Chinese Circulation Journal*, March, 2016, 31 ( 3 ) : 280–284. DOI:10.3969/j.issn.1000-3614.2016.03.018.
  - 26 Lehnert A, Villemain O, Gaudin R, et al. Risk factors of mortality and recoarctation after coarctation repair in infancy [ J ]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2019, 29 ( 3 ) : 469–475. DOI:10.1093/icvts/ivz117.
  - 27 Adamson G, Karamlou T, Moore P, et al. Coarctation index predicts recurrent aortic arch obstruction following surgical repair of coarctation of the aorta in infants [ J ]. *Pediatr Cardiol*, 2017, 38 ( 6 ) : 1241–1246. DOI:10.1007/s00246-017-1651-4.
  - 28 Mery CM, Guzmán-Pruneda FA, Trost JG Jr, et al. contemporary results of aortic coarctation repair through left thoracotomy [ J ]. *Ann Thorac Surg*, 2015, 100 ( 3 ) : 1039–1046. DOI:10.1016/j.athoracsur.2015.04.129.
  - 29 Rose-Felker K, Robinson JD, Backer CL, et al. Preoperative use of CT angiography in infants with coarctation of the aorta [ J ]. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2017, 8 ( 2 ) : 196–202. DOI:10.1177/2150135116683929.
  - 30 Chessa M, Dindar A, Vettukattil JJ, et al. Balloon angioplasty in infants with aortic obstruction after the modified stage I Norwood procedure [ J ]. *Am Heart J*, 2000, 140 ( 2 ) : 227 – 231. DOI:10.1067/mhj.2000.108238.
  - 31 Saxena A. Recurrent coarctation: interventional techniques and results [ J ]. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2015, 6 ( 2 ) : 257–265. DOI:10.1177/2150135114566099.
  - 32 Fawzy ME, Dunn B, Galal O, et al. Balloon coarctation angioplasty in adolescents and adults: early and intermediate results [ J ]. *Am Heart J*, 1992, 124 ( 1 ) : 167–171. DOI:10.1016/0002-8703(92)90936-p.
  - 33 Brzezinska-Rajszyz G. Stents in treatment of aortic coarctation and recoarctation in small children [ J ]. *Int J Cardiol*, 2018, 263 : 40–41. DOI:10.1016/j.ijcard.2018.03.141.
  - 34 Batlivala SP, Goldstein BH. Current transcatheter approaches for the treatment of aortic coarctation in children and adults [ J ]. *Interv Cardiol Clin*, 2019, 8 ( 1 ) : 47–58. DOI: 10.1016/j.iccl.2018.08.001.
  - 35 Benomrane S, Soumer K, Khayati A. Adolescent coarctation of aorta treated with subclavian-descending aorta bypass grafting [ J ]. *Cardiol Young*, 2015, 25 ( 7 ) : 1290 – 1292. DOI:10.1017/S1047951114002340.

( 收稿日期:2020-09-27 )

**本文引用格式:**李志敏, 李晓峰. 主动脉缩窄手术后再狭窄的研究进展 [ J ]. *临床小儿外科杂志*, 2021, 20 ( 6 ) : 545 – 549. DOI:10.12260/lcxewkzz.2021.06.008.

**Citing this article as:** Li ZM, Li XF. Research advances of recoarctation after repairing coarctation of the aorta [ J ]. *J Clin Ped Sur*, 2021, 20 ( 6 ) : 545 – 549. DOI: 10.12260/lcxewkzz.2021.06.008.