

儿童气管软化的手术治疗进展

章兴 彭卫

南京医科大学附属儿童医院心胸外科, 南京 210019

通信作者: 彭卫, Email: pwking@sina.com



全文二维码

【摘要】 气管软化是儿科患者在纤维支气管镜检查过程中发现的常见气道疾病, 临床表现为犬吠样咳嗽、喘息、呼吸暂停等, 严重者可危及生命。严重气管软化的患儿往往需要接受手术治疗, 手术方式包括气管内/外支架置入术、主动脉固定术、气管固定术等, 但目前临床缺乏权威指南指导治疗。本文对儿童气管软化的手术治疗现状与进展进行总结, 为临床应用提供参考。

【关键词】 儿童; 气管软化; 外科手术

基金项目: 南京市卫生科技发展项目 (YKK20118)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202302011-019

Surgical advances for airway malacia in children

Zhang Xing, Peng Wei

Department of Cardiothoracic Surgery, Affiliated Children's Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210019, China

Corresponding author: Peng Wei, Email: pwking@sina.com

【Abstract】 Airway malacia is a common airway disease in children during flexible bronchoscopy. The major clinical manifestations include typical barking cough, wheezing, apnea and even acute life-threatening events. Severe cases tend to require surgical interventions, including intraluminal stenting, external splinting, aortopexy and tracheopexy. However, there is still no clinical consensus for guiding therapy. This review summarized the current status and recent surgical advances for airway malacia in children

【Key words】 Child; Airway Malacia; Surgical Procedures, Operative

Fund program: Nanjing Municipal Health Science & Technology Development Project (YKK20118)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202302011-019

气管软化是指由于先天发育异常或后天各种原因导致气管支撑力不足, 呼气时超过 50% 的气管管腔塌陷, 儿科患者大多因反复呼吸道感染、持续性喘息接受气道 CT 和纤维支气管镜检查后得以诊断^[1-2]。病因可分为原发性和继发性, 继发性气管软化见于心血管畸形 (如血管环、增大的心脏压迫) 或胸腔内占位压迫。根据病变部位不同, 气管软化可分为三类: 若软化部位位于气管, 则称之为气管软化 (tracheomalacia, TM); 若气管、主支气管均累及, 则称之为气管支气管软化 (tracheobronchomalacia, TBM); 若仅累及主支气管, 则称之为支气管软化 (bronchomalacia, BM)^[3]。临床表现主要为咳嗽、喘息等呼吸道症状, 严重者可导致呼吸衰竭甚至死亡, 严重威胁患儿生命健康。原发性气管软化通常可在 1~2 岁时缓解, 而对于临床症状重、气道塌陷严重以及合并症病情复杂的患儿, 保守治疗作用有限, 往往需要手术干预, 手术方式包括气管内/外支架置入术、主动脉固定术、前路和 (或) 后路气管固定术等^[4]。本文对儿童气管软化的手术治疗现状与进展进行总结, 为临床应用提供参考。

一、气管内支架置入术

气管内支架置入术可以支撑塌陷的气道以保持气管管腔开放, 从而迅速有效地缓解气管软化导致的呼吸困难等症状, 可作为保守治疗或外科手术的过渡治疗应用于严重气管软化的患儿。气管内支架因生产材质、外形、是否覆膜以及支架释放方式不同而种类繁多, 本文按照不同的材质分别进行阐述。

(一) 硅酮支架

硅酮支架是应用广泛的非金属支架, 在儿童患者中的应用可追溯至 1965 年, Montgomery^[5] 首次将 T 型硅酮支架用于儿童气管切开术后声门下狭窄的治疗。1990 年, Dumon^[6] 报道了通过硬质支气管镜置入硅酮气道支架, 为气道支架的应用打开了思路。对于外部血管压迫造成的 TBM, 行外科手术矫治后仍存在呼吸困难, Serio 等^[7] 为其中 12 例患儿放置了 26 枚硅酮支架, 结果证实 TM 患儿可首选硅酮支架或镍钛合金覆膜支架作为非永久性治疗; 而 BM 患儿首选不锈钢支架^[8]。硅酮支架生物相容性好, 易于移除, 但支架支撑力相对弱、壁厚、容易移位, 存在支架两端肉芽组织增生的情况,

在小婴儿中的应用有所限制。

(二) 金属支架

金属支架主要包括镍钛记忆合金支架和不锈钢支架。1995 年,Filler 等^[9]介绍了将不锈钢材质的球囊扩张式金属支架 Palmaz 支架用于儿童的经验。由于儿童气管内径较成人小,且处于生长中,因此没有儿科专用的金属支架,文献报道使用的金属支架有肾动脉支架、球囊扩张式冠状动脉支架^[10-12]。金属支架支撑力强,不易移位,Mittal 等^[12]报道了 3 例支气管软化的患儿于内科治疗无效后,置入球囊扩张式冠状动脉金属裸支架,有效缓解了支气管狭窄。金属支架贴壁牢靠,短期置入可有效缓解气道梗阻,可作为其他治疗干预前的过渡治疗。Serio 等^[13]报道了 7 例患儿接受球囊扩张式金属支架治疗左主支气管软化,经过随访(中位随访时间 4 年),7 例均存在支架变形的情况,其中支架断裂 3 例,损伤气管内壁 1 例,因此不推荐金属气道支架在儿童患者中作为永久性治疗。Wang 等^[14]一项关于接受金属气管内支架置入术的随访研究显示,金属支架相关的并发症包括术后气道分泌物增多(75.8%)、支架变形(66.7%)、肉芽组织增生(60.6%)、气道狭窄(45.5%)、支架移位(12.1%)以及支架断裂(6.1%)。该研究表明,金属支架放置时长与并发症发生率呈正相关,可为原发病治疗争取时间,但不宜长期放置。

(三) 生物可降解气管内支架

聚对二氧环己酮(polydioxanone, PDO)是一种生物降解材料,由 PDO 制成的产品生物相容性好,广泛应用于医学领域。2011 年,Vondrys 等^[15]首次报道了应用 PDO 材质的气管内支架治疗因外部压迫或气道自身塌陷导致的儿童气管狭窄,4 例患儿共接受了 11 次支架置入术,所有患儿术后气道狭窄即刻缓解,无一例发生出血或穿孔;3 例在首次支架置入后 1 年通气情况良好,1 例由于其他原因放弃治疗后死亡。现有文献报道的应用于小儿的生物可降解气管内支架主要为 PDO 支架,支架置入体内后,其完整性和径向力可维持 6~8 周,术后 3~4 个月降解,无需取出,且支架两端设有金属标记物,便于在 X 线下定位,适用于需要短期置入支架的患儿^[16-18]。可吸收气管内支架理论上克服了硅酮支架及金属支架的一些缺点,在良性气道狭窄及儿科颇有临床应用前景。但临床实践中,也存在着如肉芽组织增生、支架移位和局部狭窄等内支架难以避免的并发症。此外,支架降解产生的较大碎片也可能成为气道异物而导致气道梗阻^[19-20]。

理想的内支架应该有合适的支撑力缓解气道塌陷,同时不对气管壁过度压迫,不易移位也不难取出;具备良好的生物学相容性,不易引起肉芽组织增生;有不同规格以供不同年龄患儿使用。生物可降解气管内支架为儿童气管软化的治疗拓宽了思路,在相关并发症的处理、支架的材料选择以及如何设定合适的降解速率以减少术后支气管镜介入等问题上仍需改进。

二、外科手术

(一) 主动脉固定术

主动脉固定术是通过带垫片的缝线将主动脉悬吊于胸

骨后,使气管前壁被拉向前方,从而增加软化气管的前后径,多用于原发性 TM 或纵隔内血管异常(如无名动脉压迫、先天性双主动脉弓等)引起的继发性 TM^[21-24]。在右弓优势型双主动脉弓的矫治中,离断左弓术后可能仍然存在气道受压并引起呼吸困难等急性危及生命事件,而同期行主动脉固定术可以有效地改善呼吸道症状,并减少术后 TM 相关的并发症,但当气管软化累及支气管时,仅行主动脉固定术疗效非常有限,需要联合其他手术治疗^[25-26]。主动脉固定术手术入路包括胸骨正中切口、左前外侧切口、右前外侧切口、胸骨上切口等。随着对微创术式的追求,也有文献报道胸腔镜下主动脉固定术安全可行,其疗效、并发症情况与开放术式类似^[27-29]。Torre 等^[28]回顾了 581 例接受主动脉固定术的气管软化患者,80% 以上的患者术后气管软化显著改善,但仍有部分患者病情无好转甚至需要其他手术干预,其并发症包括气胸、胸腔积液、肺不张、心包积液、乳糜胸、膈神经麻痹及出血,大多可经保守治疗治愈。主动脉固定术是外科治疗气管软化的经典术式,对于一些单纯气管受压引起的继发性 TM 或原发性短段 TM 疗效显著,也可在其他外科术式中同期使用,有助于术后早期撤离有创机械通气,实现加速康复。

(二) 前路和(或)后路气管固定术

相较于主动脉固定术间接解除气管前部压迫的治疗方式,气管固定术将软化段的气管外膜与前方或后方的组织进行悬吊缝合固定,可直接增加气道管腔内径。后路气管固定术将气管外膜固定在前纵韧带,适用于呼气时气道膜部过度向气道内塌陷导致气道梗阻的患者。Shieh 等^[30]回顾性分析了 98 例行后路气管固定术的患者,术后 9 例(9.2%)出现持续气道塌陷,需要再次手术干预,无一例发生出血或感染等明显的早期并发症,平均随访 5 个月,术后临床症状及支气管镜检查结果均显著改善。除了单独的后路气管固定术,Lawlor 等^[31]尝试后路联合前路气管固定术治疗重度 TBM,患儿术后症状显著改善,但是该手术需广泛游离气管周围组织,容易损伤喉返神经。食管闭锁矫治术后患儿容易出现气管软化,严重者需要手术干预,多项研究表明,胸腔镜下一期行食管闭锁矫治术+后路气管固定术可改善患儿术后呼吸情况,缩短术后呼吸机辅助通气时间,不增加手术并发症,值得推广^[32-34]。除此之外,针对合并 TBM 的长段气管狭窄,在行 Slide 气管成形术(slide tracheoplasty, STP)后,Wen 等^[35]主张行前路气管固定术以保证重建隆突的稳定性,改善 STP 手术预后。Enzer 等^[36]报道了 4 例接受后路气管固定术的患儿,均为支气管肺发育不良的早产儿合并严重 TM,3 例术后复查纤支镜气道仍然塌陷,因此该术式在此类患儿中的适用性仍有待进一步探索。

(三) 气管外支架固定术

气管外支架固定术是将 C 型、U 型、补片等形式的外固定物通过外科手术的方式固定于气管外部,将气管塌陷部位悬吊固定于外支架,从而解除气道梗阻。1968 年,Vasko 等^[37]首先报道了使用自体肋骨作为气管外支架治疗婴儿气管软化并取得成功。1982 年,Filler 等^[38]在聚丙烯网的表面

附着硅酮以形成半刚性的支架,作为气道夹板治疗儿童气管软化,外支架在儿童气管软化领域开始崭露头角。Ando 等^[39]为 98 例患者行外支架固定术,该团队采用 2 块聚四氟乙烯(polytetrafluoroethylene,PTFE)材料的外固定物,分别固定于气道软骨和膜部,两块材料之间不做吻合,给气管生长预留空间。77 例患者呼吸情况得到不同程度改善,但仍存在气管软化未缓解或再发、周围组织(气管、食管)穿孔感染、喉返神经损伤、膈神经麻痹等并发症。

自体肋骨、PTFE 等不可吸收气管外支架的长期有效性缺乏多中心、大样本研究。鉴于儿童气道的生长发育特点,近年来研究聚焦于采用可降解的高分子生物材料制作的气管外支架治疗儿童气管软化,包括聚己内酯(polycaprolactone,PCL)、聚左旋乳酸(poly-L-lactic acid,PLLA)等。2013 年,密歇根大学团队报道了首例使用 3D 打印的可吸收气管外支架治疗儿童 TBM,支架由 96% 的 PCL 和 4% 羟基磷灰石经激光烧结,并经 3D 打印而成,主要应用于 TBM 引起的危及生命、长期依赖机械通气的重症患儿,取得了良好的近期疗效,1 例患儿因支架移位磨损食管,造成上消化道出血而死亡^[40-42]。Hsueh 等^[43]和 Gorostidi 等^[44]分别报道了以 PLLA 为材料制作的气道支架,用于治疗主气道和(或)喉部的难治性气管软化患者,经颈部切口对气管软化段悬吊。张恒等^[45]报道了应用 PLLA 微骨板外固定术治疗先天性心脏病合并支气管软化,8 例患儿术后呼吸机使用时间、ICU 监护时间较文献报道的此类患儿平均数据明显缩短。PCL、PLLA 这类高分子生物材料具有无毒、可降解、强度高、可塑性强、易于加工成型等优点,制成的外支架克服了内支架的众多缺点,在不损伤气道内壁的情况下,既可以悬吊气管塌陷部位,又可以逐渐降解,无需再次手术取出,为儿童气管软化的外科治疗提供了新思路,尤其是先天性心脏病合并气管软化可同期进行心血管畸形矫治和外支架手术。

(四)其他外科治疗

当病变段气管长度不超过气管全长的 30% 时,可行气管切除+端端吻合术,但该术式多用于短段的先天性气管狭窄。文献报道,当患儿短段气管软化,且其他外科手术或内镜治疗无效时才考虑使用^[46-48]。STP 是治疗先天性气管狭窄的重要术式,采用 STP 治疗儿童先天性(支)气管环缺失亦有报道^[47,49]。对于一些外部血管压迫导致的继发性气管软化,除主动脉固定术外,Greene 等^[50]介绍了对 10 例气道严重受压并伴有复杂性先天性心脏病(如法洛四联症伴肺动脉瓣缺如综合征、肺动脉闭锁合并室间隔缺损)患者进行 Le-compte 操作的经验,即将肺动脉移至升主动脉前方,从而缓解气道压迫。Kamran 等^[51]为 8 例回旋主动脉合并 TBM 的患者行主动脉“不交叉”手术解除气管受压,同期针对 TBM 行气管[前和(或)后路]固定术,随访 22 个月无呼吸困难症状。对于部分主动脉弓部畸形引起的气管或支气管压迫,亦有文献报道采用降主动脉移植术解除气管受压,术中联合可吸收气管外支架固定术或气管成形术治疗,近期疗效满意,但该手术难度高、风险大,仅推荐用于特殊类型血管环

的非常规治疗^[52-53]。此外,文献报道降主动脉后路固定术在左主支气管软化中的应用,将胸降主动脉与胸椎骨膜或者其周围组织用缝线固定以解除气管受压,术中使用支气管镜证实气管管腔打开,且搏动消失,有效地改善了患者的呼吸道症状^[30,54-55]。

综上所述,严重的气管软化可危及患儿生命,目前尚无统一标准的治疗方案,通过文献复习发现,儿童气管软化的治疗并不拘泥于单个、单种支架或者单一术式,可以是主动脉固定术、气管内/外支架置入术等的相继或联合应用,侧面反映了儿童气管软化的手术治疗还有提升空间,在支架设计上还需进一步研究改进。儿童气管软化的手术治疗提倡个体化,需要术前充分评估气道塌陷位置、程度、特点以及合并症,术者熟悉不同的术式及其优缺点,选择合适的手术方案;应加强医工合作,利用材料学、3D 打印技术等高科技手段使治疗更加个性化、精准化。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Ferraro VA, Baraldi E, Stabinger D, et al. Pediatric flexible bronchoscopy: a single-center report [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2021, 56(8):2634-2641. DOI:10.1002/ppul.25458.
- [2] Atag E, Unal F, Yazan H, et al. Pediatric flexible bronchoscopy in the intensive care unit: a multicenter study [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2021, 56(9):2925-2931. DOI:10.1002/ppul.25566.
- [3] Wallis C, Alexopoulou E, Antón-Pacheco JL, et al. ERS statement on tracheomalacia and bronchomalacia in children [J]. *Eur Respir J*, 2019, 54(3):1900382. DOI:10.1183/13993003.00382-2019.
- [4] Kamran A, Jennings RW. Tracheomalacia and tracheobronchomalacia in pediatrics: an overview of evaluation, medical management, and surgical treatment [J]. *Front Pediatr*, 2019, 7:512. DOI:10.3389/fped.2019.00512.
- [5] Montgomery WW. T-tube tracheal stent [J]. *Arch Otolaryngol*, 1965, 82:320-321. DOI:10.1001/archotol.1965.00760010322023.
- [6] Dumon JF. A dedicated tracheobronchial stent [J]. *Chest*, 1990, 97(2):328-332. DOI:10.1378/chest.97.2.328.
- [7] Serio P, Nenna R, Fainardi V, et al. Residual tracheobronchial malacia after surgery for vascular compression in children: treatment with stenting [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 51(2):211-217. DOI:10.1093/ejcts/ezw299.
- [8] 孟晨,刘帅帅,王少超.气道支架置入术在现代儿科介入呼吸病学的应用[J]. *中国实用儿科杂志*, 2019, 34(6):485-490. DOI:10.19538/j.ek2019060609.
- [9] Meng C, Liu SS, Wang SC. Application of airway stenting for interventional respiratory diseases in modern pediatrics [J]. *Chin J Pract Pediatr*, 2019, 34(6):485-490. DOI:10.19538/j.ek2019060609.
- [10] Filler RM, Forte V, Fraga JC, et al. The use of expandable metallic airway stents for tracheobronchial obstruction in children [J]. *J Pediatr Surg*, 1995, 30(7):1050-1056. DOI:10.1016/0022-3468(95)90340-2.
- [11] 杨阳,焦安夏,李晓峰,等.气管支架治疗儿童先天性心脏病合并气管梗阻的临床效果[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2019, 35(5):260-265. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-4497.

2019. 05. 002.
- Yang Y, Jiao AX, Li XF, et al. Clinical study of tracheal stenting for congenital heart disease with airway obstruction in children [J]. *Chin J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 35 (5): 260-265. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-4497.2019.05.002.
- [11] 郁迪, 莫绪明, 彭卫, 等. 儿童气管狭窄的外科治疗[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2021, 37 (11): 649-653. DOI: 10.3760/cma.j.cn112434-20200914-00419.
- Yu D, Mo XM, Peng W, et al. Surgical treatment of tracheal stenosis in children [J]. *Chin J Thorac Cardiovasc Surg*, 2021, 37 (11): 649-653. DOI: 10.3760/cma.j.cn112434-20200914-00419.
- [12] Mittal N, El-Said HG, Ratnayaka K, et al. Bronchial stenting in infants with severe bronchomalacia: technique and outcomes [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2021, 145: 110703. DOI: 10.1016/j.ijporl.2021.110703.
- [13] Serio P, Nenna R, Di Maurizio M, et al. Outcome of long-term complications after permanent metallic left bronchial stenting in children [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 53 (3): 610-617. DOI:10.1093/ejcts/ezx374.
- [14] Wang M, Zhu B, Xu X. Follow-up investigation of 41 children after metallic airway stent implantation: an 8-year experience [J]. *Front Pediatr*, 2020, 8: 579209. DOI:10.3389/fped.2020.579209.
- [15] Vondrys D, Elliott MJ, McLaren CA, et al. First experience with biodegradable airway stents in children [J]. *Ann Thorac Surg*, 2011, 92 (5): 1870-1874. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2011.07.042.
- [16] Harris CA, Brodlie M, O'Brien C, et al. Successful biodegradable stent insertion in an infant with severe bronchomalacia and cystic fibrosis [J]. *J Cyst Fibros*, 2021, 20 (2): e13-e15. DOI:10.1016/j.jcf.2020.10.004.
- [17] Nacoti M, Consonni F, Bonanomi E, et al. Severe perinatal bronchomalacia in a newborn with patent ductus arteriosus [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2020, 201 (2): e3-e4. DOI: 10.1164/ajrccm.201902-0410IM.
- [18] Antón-Pacheco JL, Luna C, García E, et al. Initial experience with a new biodegradable airway stent in children: Is this the stent we were waiting for? [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2016, 51 (6): 607-612. DOI:10.1002/ppul.23340.
- [19] Stramiello JA, Mohammadzadeh A, Ryan J, et al. The role of bioresorbable intraluminal airway stents in pediatric tracheobronchial obstruction: a systematic review [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2020, 139: 110405. DOI: 10.1016/j.ijporl.2020.110405.
- [20] Sztanó B, Kiss G, Múrai K, et al. Biodegradable airway stents in infants-potential life-threatening pitfalls [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2016, 91: 86-89. DOI: 10.1016/j.ijporl.2016.10.013.
- [21] Isik O, Akyuz M, Ozcefci G, et al. Role of aortopexy in the treatment of aberrant innominate artery in children [J]. *Pediatr Surg Int*, 2022, 39 (1): 47. DOI:10.1007/s00383-022-05280-2.
- [22] Sumida W, Tainaka T, Shirota C, et al. An imaging study on tracheomalacia in infants with esophageal atresia: the degree of tracheal compression by the brachiocephalic artery is a good indicator for therapeutic intervention [J]. *Pediatr Surg Int*, 2021, 37 (12): 1719-1724. DOI:10.1007/s00383-021-04985-0.
- [23] Williams SP, Losty PD, Dhannapuneni R, et al. Aortopexy for the management of paediatric tracheomalacia-the Alder Hey experience [J]. *J Laryngol Otol*, 2020, 134 (2): 174-177. DOI: 10.1017/S0022215120000031.
- [24] Calkoen EE, Gabra HOS, Roebuck DJ, et al. Aortopexy as treatment for tracheo-bronchomalacia in children: an 18-year single-center experience [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2011, 12 (5): 545-551. DOI:10.1097/PCC.0b013e3182070f6f.
- [25] Hammond-Jack K, Ramakrishnan KV, Nath DS. Aortopexy for life-threatening airway obstruction following division of double aortic arch [J]. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2020, 11 (4): NP66-NP68. DOI:10.1177/2150135117709023.
- [26] Rijnberg FM, Butler CR, Bieli C, et al. Aortopexy for the treatment of tracheobronchomalacia in 100 children: a 10-year single-centre experience [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 54 (3): 585-592. DOI:10.1093/ejcts/ezy076.
- [27] Haveliwala Z, Yardley I. Aortopexy for tracheomalacia via a supra-sternal incision [J]. *J Pediatr Surg*, 2019, 54 (2): 247-250. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2018.10.073.
- [28] Torre M, Carlucci M, Speggorin S, et al. Aortopexy for the treatment of tracheomalacia in children: review of the literature [J]. *Ital J Pediatr*, 2012, 38 (1): 62. DOI:10.1186/1824-7288-38-62.
- [29] Wong ZH, Hewitt R, Cross K, et al. Thoracoscopic aortopexy for symptomatic tracheobronchomalacia [J]. *J Pediatr Surg*, 2020, 55 (2): 229-233. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2019.10.034.
- [30] Shieh HF, Smithers CJ, Hamilton TE, et al. Descending aortopexy and posterior tracheopexy for severe tracheomalacia and left main-stem bronchomalacia [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 31 (3): 479-485. DOI:10.1053/j.semtcvs.2018.02.031.
- [31] Lawlor C, Smithers CJ, Hamilton T, et al. Innovative management of severe tracheobronchomalacia using anterior and posterior tracheobronchopexy [J]. *Laryngoscope*, 2020, 130 (2): E65-E74. DOI:10.1002/lary.27938.
- [32] 周崇高, 李波, 邹婵娟, 等. 胸腔镜下一期手术治疗食管闭锁合并气管软化的短期疗效 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2022, 21 (11): 1062-1066. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202204049-012.
- Zhou CG, Li B, Zou CJ, et al. Short-term outcomes of one-stage thoracoscopy for esophageal atresia plus tracheomalacia [J]. *J Clin Pediatr Surg*, 2022, 21 (11): 1062-1066. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202204049-012.
- [33] Yasui A, Hinoki A, Amano H, et al. Thoracoscopic posterior tracheopexy during primary esophageal atresia repair ameliorate tracheomalacia in neonates: a single-center retrospective comparative cohort study [J]. *BMC Surg*, 2022, 22 (1): 285. DOI: 10.1186/s12893-022-01738-1.
- [34] van Tuyll van Serooskerken ES, Tytgat SHAJ, Verweij JW, et al. Primary posterior tracheopexy in esophageal atresia decreases respiratory tract infections [J]. *Front Pediatr*, 2021, 9: 720618. DOI: 10.3389/fped.2021.720618.
- [35] Wen WY, Du XW, Zhu LM, et al. Surgical management of long-segment congenital tracheal stenosis with tracheobronchial malacia [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 61 (5): 1001-1010. DOI: 10.1093/ejcts/ezab551.
- [36] Enzer KG, Wine TM, Gien J, et al. Posterior tracheopexy for pre-term infants with severe bronchopulmonary dysplasia and severe tracheobronchomalacia: a case series [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2022, 57 (9): 2279-2281. DOI:10.1002/ppul.26029.
- [37] Vasko JS, Ahn C. Surgical management of secondary tracheomalacia [J]. *Ann Thorac Surg*, 1968, 6 (3): 269-272. DOI:10.1016/S0003-4975(10)66023-7.
- [38] Filler RM, Buck JR, Bahoric A, et al. Treatment of segmental tracheomalacia and bronchomalacia by implantation of an airway

- splint[J]. *J Pediatr Surg*, 1982, 17(5):597-603. DOI:10.1016/S0022-3468(82)80118-8.
- [39] Ando M, Nagase Y, Hasegawa H, et al. External stenting: a reliable technique to relieve airway obstruction in small children[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2017, 153(5):1167-1177. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2016.12.041.
- [40] Zopf DA, Hollister SJ, Nelson ME, et al. Bioresorbable airway splint created with a three-dimensional printer[J]. *N Engl J Med*, 2013, 368(21):2043-2045. DOI: 10.1056/NEJMc1206319.
- [41] Sood V, Green GE, Les A, et al. Advanced therapies for severe tracheobronchomalacia: a review of the use of 3D-printed, patient-specific, externally implanted, bioresorbable airway splints[J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu*, 2021, 24:37-43. DOI:10.1053/j.pcsu.2021.02.001.
- [42] Les AS, Ohye RG, Filbrun AG, et al. 3D-printed, externally-implanted, bioresorbable airway splints for severe tracheobronchomalacia[J]. *Laryngoscope*, 2019, 129(8):1763-1771. DOI: 10.1002/lary.27863.
- [43] Hsueh WD, Smith LP. External airway splint to treat tracheomalacia following laryngotracheal reconstruction[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2017, 94:68-69. DOI: 10.1016/j.ijporl.2017.01.006.
- [44] Gorostidi F, Reinhard A, Monnier P, et al. External bioresorbable airway rigidification to treat refractory localized tracheomalacia[J]. *Laryngoscope*, 2016, 126(11):2605-2610. DOI: 10.1002/lary.25918.
- [45] 张恒, 张本青, 段雷雷, 等. 应用可吸收聚左旋乳酸微骨板外固定术治疗先天性心脏病合并支气管软化-单中心经验总结[J]. *中国循环杂志*, 2020, 35(1):78-81. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2020.01.013.
- Zhang H, Zhang BQ, Duan LL, et al. External fixation with absorbable poly-L-lactic acid microplate for treating bronchomalacia plus congenital heart disease[J]. *Chin Circul J*, 2020, 35(1):78-81. DOI:10.3969/j.issn.1000-3614.2020.01.013.
- [46] Abia-Trujillo D, Majid A, Johnson MM, et al. Central airway collapse, an underappreciated cause of respiratory morbidity[J]. *Mayo Clin Proc*, 2020, 95(12):2747-2754. DOI: 10.1016/j.mayocp.2020.03.004.
- [47] 刘帅帅, 马静, 王少超, 等. 先天性气管软骨环缺失 4 例[J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2021, 36(7):546-548. DOI: 10.3760/cma.j.cn101070-20190823-00787.
- Liu SS, Ma J, Wang SC, et al. Congenital absence of tracheal cartilage ring: a report of 4 cases[J]. *Chin J Appl Clin Pediatr*, 2021, 36(7):546-548. DOI: 10.3760/cma.j.cn101070-20190823-00787.
- [48] Arcieri L, Pak V, Poli V, et al. Tracheal surgery in children: outcome of a 12-year survey[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2018, 26(4):660-666. DOI:10.1093/icvts/ivx390.
- [49] Smith MM, Kou YF, Schweiger C, et al. Congenital absence of tracheal or bronchial rings[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2021, 164(2):422-426. DOI:10.1177/0194599820950725.
- [50] Greene CL, Mainwaring RD, Sidell D, et al. Lecompte procedure for relief of severe airway compression in children with congenital heart disease[J]. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2019, 10(5):558-564. DOI:10.1177/2150135119860466.
- [51] Kamran A, Friedman KG, Jennings RW, et al. Aortic uncrossing and tracheobronchopexy corrects tracheal compression and tracheobronchomalacia associated with circumflex aortic arch[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, 160(3):796-804. DOI:10.1016/j.jtcvs.2020.03.158.
- [52] Chiu P, Jennings RW, Friedman KG, et al. Bronchomalacia in right aortic arch treated with descending aortic translocation and airway splint[J]. *Ann Thorac Surg*, 2022, 113(3):e187-e189. DOI:10.1016/j.athoracsur.2021.04.105.
- [53] 黄景思, 许伟滨, 饶姣, 等. 降主动脉移植术在主动脉畸形导致气管或支气管狭窄中的应用[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2021, 37(7):410-413. DOI: 10.3760/cma.j.cn112434-20200119-00019.
- Huang JS, Xu WB, Rao J, et al. Application of descending aortic translocation for tracheal or bronchial stenosis due to aortic deformity[J]. *Chin J Thorac Cardiovasc Surg*, 2021, 37(7):410-413. DOI:10.3760/cma.j.cn112434-20200119-00019.
- [54] Rajan S, Kalpana S, Coelho R. Aortopexy-an effective strategy for relief of left main bronchus compression[J]. *Cardiol Young*, 2020, 30(8):1191-1193. DOI:10.1017/S1047951120001699.
- [55] Baird CW, Prabhu S, Buchmiller TL, et al. Direct tracheobronchopexy and posterior descending aortopexy for severe left mainstem bronchomalacia associated with congenital pulmonary airway malformation and left circumflex aortic arch[J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 102(1):e1-e4. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2015.11.065.

(收稿日期:2023-02-12)

本文引用格式:章兴, 彭卫. 儿童气管软化的手术治疗进展[J]. *临床小儿外科杂志*, 2023, 22(9):895-900. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202302011-019.

Citing this article as: Zhang X, Peng W. Surgical advances for airway malacia in children[J]. *J Clin Ped Sur*, 2023, 22(9):895-900. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202302011-019.