

慢性血栓栓塞性肺动脉高压的介入治疗

洪 城, 陈海明

作者单位: 510010 广东,呼吸疾病国家重点实验室,广州医科大学附属第一医院,广州呼吸健康研究院

作者简介: 洪 城(1974-),男,医学博士,副主任医师,硕士研究生导师,研究方向:肺血管疾病的诊治。E-mail:gyfyhc@126.com



洪 城,医学博士,副主任医师,硕士研究生导师,广州呼吸健康研究院呼吸介入中心副主任。任职于呼吸疾病国家重点实验室,呼吸疾病国家临床中心,广州呼吸健康研究院,广州医科大学附属第一医院。任中华医学会呼吸病学分会第十届肺血栓与肺血管疾病学组委员,广东省临床医学学会肺血管疾病及介入诊治专业委员会副主委,中国医师协会呼吸分会介入学组血管工作组副组长,中国老年医学学会呼吸病学分会第一届委员会肺血管病学术工作委员会委员,中国医师协会腔内血管学专业委员会淋巴疾病委员,中国医疗保健国际交流促进会血管外科分会委员,广东省医学会呼吸病学分会第八届委员会血管学组成员,广东省医师协会呼吸分会青年专业组委员,广东省健康管理学会肺血管专委会委员,北京医学奖励基金会心肺循环专业委员会委员。获广州市科技进步奖。获评为中国好医生(2017年)、2019年广东省杰出青年医学人才、广州医科大学附属第一医院实力中青年医生、2019年广州日报实力中青年医生。主持课题3项,参与编写《呼吸病学》专著和《内科学》教材,发表SCI及核心期刊论文27篇,获得专利5项。

慢性血栓栓塞性肺动脉高压(CTEPH)是肺栓塞的潜在致命结果。目前肺动脉内膜剥脱术(PEA)是首选的治疗方法,但多种因素限制了其临床应用和开展。对于不能行PEA治疗的CTEPH患者,经皮球囊肺动脉成形术是近年来发展迅速的一种能够改善患者临床症状、降低肺动脉压力和肺血管阻力并改善患者预后的新的介入治疗方法。

[摘要] 慢性血栓栓塞性肺动脉高压(CTEPH)是肺栓塞的潜在致命结果。目前肺动脉内膜剥脱术(PEA)是首选的治疗方法,但多种因素限制了其临床应用和开展。对于不能行PEA治疗的CTEPH患者,经皮球囊肺动脉成形术是近年来发展迅速的一种能够改善患者临床症状、降低肺动脉压力和肺血管阻力并改善患者预后的新的介入治疗方法。

[关键词] 慢性血栓栓塞性肺动脉高压; 肺动脉内膜剥脱术; 经皮球囊肺动脉成形术

[中图分类号] R 544.1⁺6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1674-3806(2020)09-0869-05

doi:10.3969/j.issn.1674-3806.2020.09.05

Interventional treatment of chronic thromboembolic pulmonary hypertension HONG Cheng, CHEN Hai-ming. State Key Laboratory of Respiratory Disease, the First Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou Institute of Respiratory Health, Guangdong 510010 China

[Abstract] Chronic thromboembolic pulmonary hypertension(CTEPH) is a potentially lethal outcome of pulmonary embolism. At present, pulmonary endarterectomy(PEA) is the preferred treatment method for CTEPH, but many factors limit its clinical application and development. For CTEPH patients who can not be treated with PEA, percutaneous balloon pulmonary angioplasty(BPA) is a new interventional therapy developed rapidly in recent years, which can improve the clinical symptoms, reduce the pulmonary artery pressure and pulmonary vascular resistance of the patients, and improve their prognoses.

[Key words] Chronic thromboembolic pulmonary hypertension(CTEPH); Pulmonary endarterectomy(PEA); Percutaneous balloon pulmonary angioplasty(BPA)

慢性血栓栓塞性肺动脉高压(chronic thromboembolic pulmonary hypertension,CTEPH)是一种以未溶解的血栓栓子堵塞近端肺动脉和远端肺血管重塑为特征,导致肺血管阻力(pulmonary vascular resistance,PVR)进行性升高,肺动脉压力升高,最终引起

右心衰竭,甚至死亡的慢性进行性疾病。在目前肺动脉高压(pulmonary arterial hypertension,PAH)分类中,CTEPH归于第4大类^[1],常表现为呼吸困难、乏力和运动耐力下降,在缺乏有效治疗方案的时代,其致残、致死率高,预后差。近年来随着外科手术、

介入治疗和靶向药物的临床应用,其预后有了明显改善。

1 CTEPH 治疗概述

未经治疗的 CTEPH 患者存在进行性 PAH,右心衰竭和死亡的高风险^[2],多学科团队的早期诊断和治疗至关重要^[3,4]。目前,CTEPH 的治疗主要包括外科手术、介入治疗和靶向药物治疗。肺动脉内膜剥脱术(pulmonary endarterectomy, PEA)是目前 CTEPH 的首要治疗方法,部分患者行 PEA 可达到治愈^[5]。因此,建议确诊的 CTEPH 患者首先在专业诊疗中心评估 PEA 可能性。但是,只有不到 60% 的 CTEPH 患者可以进行 PEA,在 17%~31% 的患者中,术后 PAH 仍然存在或复发^[6-8]。对于不适合行 PEA 或 PEA 术后出现持续性或复发性 PAH 的患者,可以予针对 PAH 的靶向药物治疗^[1]。可溶性鸟苷酸环化酶激动剂-利奥西呱是目前唯一获准用于治疗 CTEPH 的靶向药物,并已显示可改善患者的血流动力学和运动能力^[1,9]。因为缺乏阳性的随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)研究证据,磷酸二酯酶-5 抑制剂(phosphodiesterase type 5 inhibitor, PDE-5i)、内皮素受体拮抗剂(endothelin receptor antagonists, ERAs)和前列腺素类药物未被批准用于该适应证^[1]。MERIT-1 研究^[10]显示马昔腾坦对于不能手术的 CTEPH 患者也有较好的疗效。尽管如此,药物治疗本身并不能解除血管梗阻病变,因此约 40% 的患者需要一种新的介入手术替代方法。经皮球囊肺动脉成形术(percutaneous balloon pulmonary angioplasty, BPA)是一种微创介入治疗,通过球囊扩张狭窄/闭塞的肺动脉,改善肺血流灌注和压力,通常在局麻下进行,操作流程相对简单,在一定程度上可以弥补上述两种治疗方法的不足。近几十年来随着 BPA 在临床的开展以及临床经验的积累,目前已经对 BPA 应用的适应证、禁忌证及其并发症的预防有了一定的认识。对于 CTEPH 不适合手术或在 PEA 后出现复发性或持续性 PAH 的患者来说是一种新的有效治疗手段。

2 BPA 临床应用实践

2.1 BPA 的发展历程

BPA 又称经皮腔肺动脉成形术(percutaneous transluminal pulmonary angioplasty, PTPA),是利用导管造影对闭塞肺动脉进行定位,再经导丝通过闭塞部位,然后用球囊扩张狭窄病变或者开通阻塞血管的介入技术。目的是改善血流动力学和肺灌注,最终降低右心室后负荷并防止右心衰竭。为了获得最佳的血流动力学结果,需要分阶段

进行球囊扩张。BPA 最初是在儿科心脏病学领域开发的,用于治疗先天性发育不全和狭窄的肺动脉^[11],1988 年荷兰 Voorburg 等^[12]首次采用 BPA 治疗 CTEPH。2001 年,美国 Feinstein 等^[13]率先报道了 18 例无法行 PEA 的 CTEPH 患者接受 BPA 的疗效和安全性。尽管血流动力学指标明显改善,但再灌注性肺水肿(reperfusion pulmonary edema, RPE)发生率达 61%,致使 BPA 在随后的 10 年内发展缓慢。2012 年,日本学者大力发展并改良 BPA 技术,应用小球囊分次扩张改良 BPA 并结合血管内影像技术明显降低了 RPE 和血管损伤的发生率^[14-16]。近期,一项对法国的 184 例患者行 1 006 次 BPA 的研究结果显示改良 BPA 改善了不能手术的 CTEPH 患者的症状、运动能力和血流动力学^[17]。多项 Meta 分析结果也证实了 BPA 治疗 CTEPH 患者的有效性及安全性^[18-20]。经过上述临床中心数十年的摸索,不断改进 BPA 的操作技术和策略,目前 BPA 的术后并发症已明显减少,在 CTEPH 应用中已显现出良好的前景。国内各大医院也在逐渐开展及改良 BPA,但整体而言,缺乏较统一的治疗流程和并发症控制策略,需要进一步的系统研究。

2.2 BPA 的适应证

BPA 现在已经发展成为 CTEPH 治疗的重要组成部分。这项技术在 2015 年 PAH 的诊断和治疗指南中首次被接受为治疗策略(Ⅱb 类推荐,证据水平 C 级),用于不能手术的 CTEPH 患者或手术的获益/风险比不高的患者^[1]。2018 年法国尼斯举行第六届世界 PAH 研讨会之后,BPA 在 CTEPH 中的治疗地位似乎得到进一步提升^[21]。对于可手术治疗的 CTEPH 患者,PEA 仍然是首选治疗方法,但对于那些评估认为无法手术的患者,考虑行药物和 BPA 治疗。此外,PEA 后出现持续/复发性肺高压的患者应接受药物治疗并考虑使用 BPA^[21]。根据日本循环协会关于 BPA 的声明^[22],BPA 的适宜人群如下:(1)不适合 PEA 的病例(内膜剥脱无法到达的病变,手术可切除但因合并症不能手术以及 PEA 术后残留或复发的 PAH 病例);(2)常规治疗效果不佳的病例[常规治疗后 WHO 功能分级 \geq Ⅲ级,平均肺动脉压(mean pulmonary artery pressure, mPAP) \geq 30 mmHg,或 PVR \geq 300 $\text{dyne} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-5}$];(3)征得知情同意的患者(在充分了解 BPA 和 PEA 的风险和益处后希望接受 BPA 治疗的患者);(4)无严重并发症、多器官功能衰竭或碘造影剂过敏的病例。如前所述,BPA 的主要目的是改善血流动力学,最终降低右心室后负荷,笔者目前提出“抢救性 BPA”

这一理念,将BPA应用于药物治疗效果不佳的CTEPH严重右心衰竭患者,通过部分扩张病变,以缓解或改善患者右心衰竭症状。而随着CTEPH治疗选择的扩展,以及PEA、BPA、药物治疗及其组合的适用性,目前CTEPH治疗中最关键的一点是由多学科专家团队评估可操作性。

2.3 CTEPH 病变影像评估 准确进行肺动脉分支插管和评估每种血管病变类型和血管直径以选择合适尺寸的球囊在BPA操作过程中至关重要。目前研究报道了血管内超声(intravascular ultrasound, IVUS)、光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)和C臂CT(C-arm computed tomography, CACT)等成像技术指导BPA,提供了更清晰的病变图像。肺血管造影是常规和标准方法,通常拍摄正位和侧位两个角度,显示环形狭窄病变(带状病变)、网状病变、次全闭塞病变、完全闭塞病变(囊状病变)和迂曲病变。为了更详细评估病变,应该从送入节段动脉而非主肺动脉的导管中注入对比剂来进行超选择性肺血管造影。但肺动脉分支众多,导致区分血管和确定病变非常困难,盲目重复选择性血管造影会增加造影剂用量和辐射暴露,导致手术时间延长,同时也伴有额外的血管损伤风险。而通过CACT进行旋转肺动脉造影,构建可以360°旋转的3D肺动脉模型,术者可以直接选择最佳投照角度,优化导管进入肺动脉路径,减少试拍造成的造影剂过多使用,减少辐射暴露和缩短手术时间^[23-25]。IVUS和OCT可用于更好地评估病变,以确定是否存在CTEPH相关的腔内病变,并测量血管直径来帮助选择合适尺寸的球囊。IVUS可以评价血管整体结构,但IVUS分辨率较低,很多时候不适用于厚度<100 μm的管壁结构^[26]。而OCT分辨率高,可以观察细小的病变形态和血管壁^[27]。上述成像技术是互补的,但需要考虑在所有患者中和BPA操作中使用的可行性,以及使用每种成像方式所涉及的成本和时间,应结合每个专业诊疗中心的具体实践去应用。

2.4 BPA 的治疗目标 由于不同的诊疗中心的BPA技术和结果不同,有必要制定特定的治疗目标以提高BPA的疗效和安全性。为了减少并发症,目前BPA主要采取分阶段多次进行的治疗策略,而CTEPH几乎累及所有的节段肺动脉,每次BPA治疗1~2个节段不足以改善血流动力学,需要在一次BPA中尽可能多地治疗病变血管,创造尽可能大的再灌注区域,增加BPA的疗效。当前,笔者所在诊疗中心主要依据荧光透视时间不超过1h和使用碘

对比剂的总量不超过250 ml^[25],通常在一次BPA中治疗5~10个部位的病变。每个病变治疗的终点^[14]为:(1)球囊扩张后靶血管肺血流分级为3级;(2)压力导丝测量病变远端与近端压力之比>0.8;(3)为避免RPE,治疗病变远端mPAP不超过35 mmHg。BPA的一个重要治疗目标是缓解PAH,这意味着BPA治疗的目标应该与PEA相同:将mPAP降至25 mmHg以下。最初一些中心的治疗目标是mPAP降到30 mmHg以下,结果显示这个临界值与更好的生存率相关^[28]。目前,日本的诊疗中心已经证实将mPAP降至25 mmHg以下是可行的^[29-31]。由于BPA是一种介入性手术,与药物治疗相比,容易有更多的并发症,应该以血流动力学正常化为目标,否则,BPA与药物治疗相比没有优势。但应根据患者的具体情况去实施,如对老年CTEPH患者,追求正常血流动力学获益/风险比不高,应权衡治疗带来的获益和手术风险,达到能够改善患者生活质量的目的即可。BPA的第二个治疗目标应该是减少PAH靶向药物的使用,这对于缓解患者的经济压力和提高患者生活质量具有重要意义。目前已有部分观察性研究^[29,30,32]结果显示,BPA治疗后使用PAH靶向药物治疗的患者比例降低。来自日本的多中心登记研究^[29]结果显示,在随访期间,接受PAH靶向药物治疗的患者比例从72%减少到45%。同样,在西班牙的系列研究^[32]中,62%的完全治疗的患者减少了靶向药物的使用。生活质量改善是BPA治疗的另外一个重要目标,患者在BPA治疗之后应能保持95%以上的血氧饱和度(吸空气下)。一些研究^[30,33,34]已经表明BPA对动脉血氧饱和度的有益影响。综上所述,BPA治疗的最终目标应该是改善患者症状,减少PAH靶向药物使用和提高生活质量。

3 BPA 的并发症管理

随着技术的改进,多年来BPA并发症的发生率有所下降,但其并发症仍可能会很严重甚至致命,因此BPA并发症的管理和预防不容忽视。BPA的并发症多为肺动脉损伤(pulmonary artery injury, PAI)和RPE,可在术后即刻或数天出现。PAI是BPA术中应注意避免的严重并发症。Inami等^[35]将PAI分为4大类:(1)导丝穿孔;(2)高灌注压损伤;(3)肺动脉破裂;(4)肺动脉夹层。这些并发症往往是粗暴、盲目操作的直接结果,可能会短时间内导致咯血、咳嗽或缺氧等体征和症状。导丝穿孔是最常见的PAI,通常是由于将导丝深深插入外周肺小动脉分支引起的,可以通过稳定引导导管和避免在远端

不清楚的病变中深插入导丝来减少,或者通过使用 CACT 成像来显示远端病变。BPA 术后 RPE 最初被认为与 PEA 后产生的机制相同^[36,37],并且与再灌注本身有关,涉及血管成形术对扩张区域血流动力学的影响。而目前认为,这可能与导丝/球囊引起的额外微损伤、血管功能障碍、水肿和炎症细胞因子的释放有关^[38]。目前临床实践中降低 RPE 风险的改进措施包括术前使用药物治疗以尽可能降低 PVR;使用血管内成像(IVUS、OCT)指导并选择合适尺寸的球囊导管;使用软头 6-Fr 指引导管和 2 mm 球囊进行初始扩张;以及术后利尿剂使用等对症治疗。Inami 等^[14]提出使用压力导丝和根据 BPA 术后肺水肿预测指数(pulmonary edema predictive scoring index, PEPSI)对病变进行治疗,PEPSI = 肺血流等级评分变化值 × 基线 PVR,已被证明可以将再灌注水肿和血管损伤的发生率降低^[14,26]。BPA 术中重复使用血管造影成像来指导介入会增加术者和患者的 X 射线暴露,这种暴露会随着手术的复杂性而增加,可能会被临床医师低估^[39]。如前所述,通过 CACT 指导 BPA,术者可以直接选择最佳投照角度,优化导管进入肺动脉路径,减少试拍造成的造影剂过多使用,从而减少辐射暴露和缩短手术时间^[25]。

4 BPA 在 CTEPH 中的应用展望

BPA 作为一种新的治疗方法,可以显著改善不适合行 PEA 的 CTEPH 患者的主观症状和血流动力学,然而其长期存活率和疗效有待进一步阐明。BPA 的进一步发展应该基于在拥有多学科 CTEPH 诊疗团队的中心进行的 RCT 研究,而不是观察数据。此外,BPA 的未来发展尚有许多问题待解决,如患者的选择、成像和操作流程,应该制定和验证确定 BPA 适用对象的客观风险评分,根据病变类型对 BPA 适用性进行新的分类,以便更好地选择将从 BPA 中获益最多的患者。同时还需要进一步完善减少并发症的策略,提高治疗的简便性。另外,应寻找易于评估的生物标志物,监测治疗结果,而不需要对血流动力学参数进行侵入性测量。未来的 CTEPH 治疗方案可能包括同时或依次结合 PEA、BPA 和靶向药物治疗,并根据患者的具体情况和随着时间推移而不断发展,BPA 在危重症 CTEPH 的抢救性治疗及 PEA 前的桥接性治疗中将发挥更大作用。灵活的治疗策略可能会为 CTEPH 患者短期和长期的获益带来实质性的改善。

参考文献

1 Galie N, Humbert M, Vachiery JL, et al. 2015 ESC/ERS Guidelines

for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension; the Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT) [J]. *Eur Respir J*, 2015,46(4):903-975.

2 Delcroix M, Lang I, Pepke-Zaba J, et al. Long-term outcome of patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension: results from an international prospective registry[J]. *Circulation*, 2016, 133(9): 859-871.

3 Jenkins D, Mayer E, Screaton N, et al. State-of-the-art chronic thromboembolic pulmonary hypertension diagnosis and management [J]. *Eur Respir Rev*, 2012, 21(123): 32-39.

4 Kurzyna M, Darocha S, Koteja A, et al. Balloon pulmonary angioplasty for chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *Postepy Kardiol Interwencyjne*, 2015, 11(1): 1-4.

5 Kim NH, Delcroix M, Jenkins DP, et al. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 62(25 Suppl): D92-D99.

6 Freed DH, Thomson BM, Berman M, et al. Survival after pulmonary thromboendarterectomy: effect of residual pulmonary hypertension [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 141(2): 383-387.

7 Mayer E, Jenkins D, Lindner J, et al. Surgical management and outcome of patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension: results from an international prospective registry[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 141(3): 702-710.

8 Pepke-Zaba J, Delcroix M, Lang I, et al. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension(CTEPH): results from an international prospective registry[J]. *Circulation*, 2011, 124(18): 1973-1981.

9 Ghofrani HA, D'Armini AM, Grimminger F, et al. Riociguat for the treatment of chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *N Engl J Med*, 2013, 369(4): 319-329.

10 Ghofrani HA, Simonneau G, D'Armini AM, et al. Macitentan for the treatment of inoperable chronic thromboembolic pulmonary hypertension(MERIT-1): results from the multicentre, phase 2, randomised, double-blind, placebo-controlled study[J]. *Lancet Respir Med*, 2017, 5(10): 785-794.

11 Lock JE, Castaneda-Zuniga WR, Fuhrman BP, et al. Balloon dilation angioplasty of hypoplastic and stenotic pulmonary arteries [J]. *Circulation*, 1983, 67(5): 962-967.

12 Voorburg JA, Cats VM, Buis B, et al. Balloon angioplasty in the treatment of pulmonary hypertension caused by pulmonary embolism [J]. *Chest*, 1988, 94(6): 1249-1253.

13 Feinstein JA, Goldhaber SZ, Lock JE, et al. Balloon pulmonary angioplasty for treatment of chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *Circulation*, 2001, 103(1): 10-13.

14 Inami T, Kataoka M, Shimura N, et al. Pulmonary edema predictive scoring index(PEPSI), a new index to predict risk of reperfusion pulmonary edema and improvement of hemodynamics in percutaneous transluminal pulmonary angioplasty [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2013, 6(7): 725-736.

- 15 Inami T, Kataoka M, Shimura N, et al. Pressure-wire-guided percutaneous transluminal pulmonary angioplasty: a breakthrough in catheter-interventional therapy for chronic thromboembolic pulmonary hypertension[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2014, 7(11):1297-1306.
- 16 Ishiguro H, Kataoka M, Inami T, et al. Diversity of lesion morphology in CTEPH analyzed by OCT, pressure wire, and angiography [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(3): 324-325.
- 17 Brenot P, Jaïs X, Taniguchi Y, et al. French experience of balloon pulmonary angioplasty for chronic thromboembolic pulmonary hypertension[J]. *Eur Respir J*, 2019, 53(5):1802095.
- 18 Khan MS, Amin E, Memon MM, et al. Meta-analysis of use of balloon pulmonary angioplasty in patients with inoperable chronic thromboembolic pulmonary hypertension[J]. *Int J Cardiol*, 2019, 291: 134-139.
- 19 Kalra R, Duval S, Thenappan T, et al. Comparison of balloon pulmonary angioplasty and pulmonary vasodilators for inoperable chronic thromboembolic pulmonary hypertension: a systematic review and meta-analysis[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 8870.
- 20 Zoppellaro G, Badawy MR, Squizzato A, et al. Balloon pulmonary angioplasty in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension—a systematic review and meta-analysis [J]. *Circ J*, 2019, 83(8):1660-1667.
- 21 Kim NH, Delcroix M, Jais X, et al. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension[J]. *Eur Respir J*, 2019, 53(1):1801915.
- 22 Japanese Circulation Society Joint Working Group. Statement for balloon pulmonary angioplasty for chronic thromboembolic pulmonary hypertension (JCS 2014) [J/OL]. *Circ J*, 2014. http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2014_ito_d.pdf
- 23 Hinrichs JB, Renne J, Hoepfer MM, et al. Balloon pulmonary angioplasty: applicability of C-Arm CT for procedure guidance [J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(11): 4064-4071.
- 24 Hinrichs JB, Marquardt S, von Falck C, et al. Comparison of C-arm computed tomography and digital subtraction angiography in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2016, 39(1): 53-63.
- 25 Lin JL, Chen HM, Lin FC, et al. Application of DynaCT angiographic reconstruction in balloon pulmonary angioplasty[J]. *Eur Radiol*, 2020. [Online ahead of print]
- 26 Roik M, Wretowski D, Łabyk A, et al. Refined balloon pulmonary angioplasty driven by combined assessment of intra-arterial anatomy and physiology—multimodal approach to treated lesions in patients with non-operable distal chronic thromboembolic pulmonary hypertension—technique, safety and efficacy of 50 consecutive angioplasties[J]. *Int J Cardiol*, 2016, 203: 228-235.
- 27 Roik M, Wretowski D, Łabyk A, et al. Optical coherence tomography of inoperable chronic thromboembolic pulmonary hypertension treated with refined balloon pulmonary angioplasty [J]. *Pol Arch Med Wewn*, 2014, 124(12): 742-743.
- 28 Lewczuk J, Piszko P, Jagas J, et al. Prognostic factors in medically treated patients with chronic pulmonary embolism[J]. *Chest*, 2001, 119(3): 818-823.
- 29 Ogawa A, Satoh T, Fukuda T, et al. Balloon pulmonary angioplasty for chronic thromboembolic pulmonary hypertension: results of a multicenter registry[J]. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*, 2017, 10(11): e004029.
- 30 Aoki T, Sugimura K, Tatebe S, et al. Comprehensive evaluation of the effectiveness and safety of balloon pulmonary angioplasty for inoperable chronic thrombo-embolic pulmonary hypertension: long-term effects and procedure-related complications[J]. *Eur Heart J*, 2017, 38(42): 3152-3159.
- 31 Kimura M, Kohno T, Kawakami T, et al. Midterm effect of balloon pulmonary angioplasty on hemodynamics and subclinical myocardial damage in chronic thromboembolic pulmonary hypertension[J]. *Can J Cardiol*, 2017, 33(4): 463-470.
- 32 Velázquez M, Albarrán A, Hernández I, et al. Balloon pulmonary angioplasty for inoperable patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. Observational study in a referral unit[J]. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*, 2019, 72(3): 224-232.
- 33 Mizoguchi H, Ogawa A, Munemasa M, et al. Refined balloon pulmonary angioplasty for inoperable patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2012, 5(6): 748-755.
- 34 Anand V, Frantz RP, DuBrock H, et al. Balloon pulmonary angioplasty for chronic thromboembolic pulmonary hypertension: initial single-center experience[J]. *Mayo Clin Proc Innov Qual Outcomes*, 2019, 3(3): 311-318.
- 35 Inami T, Kataoka M, Shimura N, et al. Incidence, avoidance, and management of pulmonary artery injuries in percutaneous transluminal pulmonary angioplasty[J]. *Int J Cardiol*, 2015, 201: 35-37.
- 36 Adams A, Fedullo PF. Postoperative management of the patient undergoing pulmonary endarterectomy[J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2006, 18(3): 250-256.
- 37 Thistlethwaite PA, Kaneko K, Madani MM, et al. Technique and outcomes of pulmonary endarterectomy surgery[J]. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*, 2008, 14(5): 274-282.
- 38 Ogo T, Fukuda T, Tsuji A, et al. Efficacy and safety of balloon pulmonary angioplasty for chronic thromboembolic pulmonary hypertension guided by cone-beam computed tomography and electrocardiogram-gated area detector computed tomography[J]. *Eur J Radiol*, 2017, 89: 270-276.
- 39 Smith IR, Rivers JT. Measures of radiation exposure in cardiac imaging and the impact of case complexity[J]. *Heart Lung Circ*, 2008, 17(3): 224-231.

[收稿日期 2020-08-04][本文编辑 吕文娟 余 军]

本文引用格式

洪 城,陈海明.慢性血栓栓塞性肺动脉高压的介入治疗[J].中国临床新医学,2020,13(9):869-873.