

肺通气/灌注显像对肺动脉血栓内膜剥脱术后残余肺动脉高压的评价

汪蕾 王蒙 张宗耀 张海龙 方伟

国家心血管病中心、中国医学科学院阜外医院核医学科, 北京 100037

通信作者: 方伟, Email: nuclearfw@126.com

【摘要】 目的 探讨慢性血栓栓塞性肺动脉高压(CTEPH)患者肺动脉血栓内膜剥脱术前全肺灌注缺损百分比(PPDs%)与术后残余肺动脉高压发生的相关性。**方法** 回顾性分析 2016 年 1 月至 2019 年 1 月于阜外医院行肺动脉血栓内膜剥脱术并于术前术后均行核素肺通气/灌注(V/Q)显像的 37 例 CTEPH 患者[男 21 例、女 16 例, 年龄(50±12)岁]。将术后肺动脉平均压(mPAP)高于 30 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)患者归入残余肺动脉高压组, 余归入无残余肺动脉高压组。计算 PPDs%用以代表全肺血流灌注缺损程度, 探讨术前术后肺动脉压力阻力及肺血流灌注的变化, 采用 logistic 回归分析影响残余肺动脉高压发生的因素。另采用配对 *t* 检验及两独立样本 *t* 检验分析数据。**结果** 肺动脉血栓内膜剥脱术明显降低 mPAP[(50.22±11.72)与(26.41±10.61) mmHg; *t*=12.599, *P*<0.001]、肺血管阻力[(10.06±5.48)与(2.89±1.58) Wood 单位; *t*=8.086, *P*<0.001], 减少灌注缺损肺段数[(13.79±2.11)与(5.52±2.82)个; *t*=11.593, *P*<0.001]。残余肺动脉高压组患者(11 例)术前 PPDs%明显高于无残余肺动脉高压组[26 例; (57.48±5.88)%与(47.77±11.09)%; *t*=-3.458, *P*=0.002]。多因素回归分析结果提示, 术前 PPDs%是影响术后残余肺动脉高压的主要因素[比值比(*OR*)=1.106, 95% *CI*: 1.006~1.216, *P*=0.036]。**结论** 核素肺 V/Q 显像可反映肺动脉血栓内膜剥脱术疗效, 术前全肺血流灌注缺损程度是术后残余肺动脉高压发生的影响因素。

【关键词】 肺动脉; 血栓形成; 动脉内膜切除术; 高血压, 肺性; 通气/灌注显像; 99m 锝聚集白蛋白; 99m 锝高锝酸钠

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20201123-00423

Pulmonary ventilation/perfusion scintigraphy in assessing residual pulmonary hypertension after pulmonary endarterectomy

Wang Lei, Wang Meng, Zhang Zongyao, Zhang Hailong, Fang Wei

Department of Nuclear Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences & Fuwai Hospital, National Center for Cardiovascular Diseases, Beijing 100037, China

Corresponding author: Fang Wei, Email: nuclearfw@126.com

【Abstract】 Objective To analyze the relationships between baseline percentage of pulmonary perfusion defect scores (PPDs%) and residual pulmonary hypertension after pulmonary endarterectomy in chronic thromboembolic pulmonary hypertension (CTEPH) patients. **Methods** A total of 37 CTEPH patients (21 males, 16 females, age (50±12) years) who had pre- and post-pulmonary endarterectomy ventilation/perfusion (V/Q) scans from January 2016 to January 2019 at Fuwai Hospital were retrospectively collected. Residual pulmonary hypertension was defined as post-surgery mean pulmonary artery pressure (mPAP) higher than 30 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa). Semi-quantitative index PPDs% was calculated to represent the extent of impaired perfusion in the whole lung. Pre- and post-surgery pulmonary hemodynamic parameters including pulmonary arterial pressure and resistance and lung perfusion were compared. Factors that may be related residual pulmonary hypertension were analyzed using logistic regression analysis. Paired *t* test and independent-sample *t* test were also used. **Results** Pulmonary endarterectomy significantly decreased mPAP ((50.22±11.72) vs (26.41±10.61) mmHg; *t*=12.599, *P*<0.001) and pulmonary vascular resistance((10.06±5.48) vs (2.89±1.58) Wood unit; *t*=8.086, *P*<0.001). The number of defected lung segments (13.79±2.11 vs 5.52±2.82; *t*=11.593, *P*<0.001) was significantly reduced. Patients who had residual pulmonary hypertension (*n*=11) exhibited significantly higher PPDs% before the surgery compared to those who were without residual pulmonary hypertension (*n*=26; (57.48±5.88)% vs (47.77±11.09)%; *t*=-3.458, *P*=0.002). Baseline PPDs% was an independent factor for predicting residual pulmonary hypertension after pulmonary endarterectomy (odds ratio (*OR*)=1.106, 95% *CI*: 1.006-1.216, *P*=0.036). **Conclusions** Pulmonary V/Q scan can assess the therapeutic effects of pulmonary endarterectomy. Extent of impaired lung

perfusion assessed by V/Q scan is the influencing factor for post-surgery residual pulmonary hypertension.

【Key words】 Pulmonary artery; Thrombosis; Endarterectomy; Hypertension, pulmonary; Ventilation/perfusion imaging; Technetium Tc 99m aggregated albumin; Sodium pertechnetate Tc 99m

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20201123-00423

肺动脉血栓内膜剥脱术已被推荐用于治疗慢性血栓栓塞性肺动脉高压(chronic thromboembolic pulmonary hypertension, CTEPH),是治疗 CTEPH 患者的最佳方式,对于能够手术的患者,该法可有效改善其肺动脉血流动力学,缓解症状,从而延长患者预期寿命^[1-3]。然而有 5%~35% 的 CTEPH 患者术后仍有肺动脉高压,术后肺动脉压力及阻力的改善情况不佳,严重影响了远期预后^[4]。肺通气/灌注显像(ventilation/perfusion, V/Q)是 CTEPH 诊断的首选检查,还可辅助评估肺动脉血栓内膜剥脱术的可行性,以及定性定量监测手术对肺血流灌注的改善,从而评估治疗有效性^[5]。本研究旨在利用肺 V/Q 显像分析行肺动脉血栓内膜剥脱术的 CTEPH 患者术前术后肺血流灌注缺损程度的变化,探讨术前肺灌注缺损情况是否影响术后残余肺动脉高压的发生。

资料与方法

1.患者资料及分组。回顾性分析阜外医院 2016 年 1 月至 2019 年 1 月行肺动脉血栓内膜剥脱术且于术前术后均行 V/Q 显像的 CTEPH 患者。CTEPH 依据《2015 欧洲心脏协会/欧洲呼吸协会肺动脉高压诊断与治疗指南》^[6]进行诊断,即所有患者经过至少 3 个月规范抗凝治疗,CT 肺动脉造影、V/Q 显像或肺动脉造影证实存在慢性血栓,右心导管检查示静息状态下肺动脉平均压(mean pulmonary artery pressure, mPAP) ≥ 25 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)。排除标准:(1)有肺部手术史、血管炎、肺动脉肿瘤等疾病;(2)V/Q 显像与手术间隔时间超过 12 个月;(3)右心导管检查资料不完整。

共入组 37 例 CTEPH 患者,男 21 例,女 16 例,年龄(50±12)岁。纽约心功能分级 3 和 4 级患者 30 例,氨基末端脑钠肽前体为 976.8(319.0,1 653.5) ng/L。采用超声心动图测量右心室前后径。通过右心导管检查获得 mPAP 及肺血管阻力。按术后 mPAP 是否 >30 mmHg 将患者分为残余肺动脉高压组和无残余肺动脉高压组^[4]。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则。

2.显像方法。图像采集均采用 Optima NM/CT 640 SPECT/CT 仪(美国 GE Healthcare),配低能高分辨准直器(能峰 140 keV,窗宽 20%)。通气设备

采用一次性肺通气导入器:⁹⁹Tc^m-锝气通气装置(澳大利亚, VITA MEDICAL LIMITED)。V/Q 显像采用两日法。灌注显像前嘱患者吸氧,氧气流量为 2~4 L/min,吸入 5~10 min。后嘱患者仰卧于检查床上,双臂抱头,使探头尽量贴近胸部。静脉注射 111~185 MBq ⁹⁹Tc^m 标记的大颗粒聚合人血清白蛋白(macroaggregated albumin, MAA;北京原子高科股份有限公司,放化纯 $\geq 95\%$),行肺灌注平面显像,共 8 个体位(前位、后位、左前斜、右前斜、左后斜、右后斜、左侧位、右侧位),采集矩阵 256×256,放大 1 倍。采集过程中嘱患者平稳呼吸,以减少呼吸运动对肺显像的干扰。第二日行通气采集,将高放射性浓度(>370 MBq/0.1 ml)的 ⁹⁹Tc^mO₄⁻ 注入锝气发生器内的密闭装置内通电加温,⁹⁹Tc^mO₄⁻ 蒸发形成锝气,嘱患者通过连接管及面罩吸入锝气体(⁹⁹Tc^m-Technegas),吸入时间 1 min。后嘱患者仰卧于检查床上,双臂抱头,使探头尽量贴近胸部,行肺通气平面显像,采集参数同肺灌注显像。

3.图像分析。由 2 位有经验的核医学医师盲法判读肺 V/Q 图像。记录肺灌注缺损的肺段个数,并参照 Meyer 法对肺灌注图像进行半定量分析^[7],计算全肺灌注缺损百分比(percentage of pulmonary perfusion defect scores, PPDs%)。双肺各叶的正常灌注百分比分别为:右肺上叶 18%,中叶 12%,下叶 25%;左肺上叶 13%,舌叶 12%,下叶 20%。根据不同肺灌注缺损程度赋予各肺叶不同系数:灌注完全正常系数为 1,灌注缺损程度从轻到重系数依次为 0.75、0.50、0.25,完全缺损系数为 0。各肺叶正常灌注百分比与系数的乘积为实际灌注百分比,求和即为全肺灌注百分比。PPDs% 为 1-全肺灌注百分比,其反映全肺血流灌注缺损的严重程度。

4.统计学处理。采用 IBM SPSS 19.0 软件进行统计学分析,符合正态分布的定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的定量资料用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,定性资料以频数或百分比表示。2 位医师评分重复性采用 kappa 检验。CTEPH 患者行肺动脉血栓内膜剥脱术前比较采用配对 t 检验,残余肺动脉高压组与无残余肺动脉高压组测量指标组间比较采用两独立样本 t 检验或 χ^2 检验。采用二分类 logistic 回归模型分析残余肺动脉高压的相关变量,将单因素

检验 $P < 0.05$ 的因素纳入多因素分析,以确定残余肺动脉高压发生的最终影响因素。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. CTEPH 患者术前术后肺血流动力学参数以及肺灌注缺损情况的比较。患者术前 V/Q 显像与右心导管检查距手术中位时间分别为 61(9,132) d、100(49,148.5) d;术后 V/Q 显像和右心导管检查距手术中位时间分别为 41(10.5,167.5) d、218(168.5,320.5) d。对于肺灌注图像评判,2 位医师评分重复性较好($kappa = 0.88$)。行肺动脉血栓内膜剥脱术后,37 例 CTEPH 患者整体肺血流动力学明显改善:mPAP 从(50.22±11.72) mmHg 降为(26.41±10.61) mmHg ($t = 12.599, P < 0.001$),肺血管阻力从(10.06±5.48) Wood 单位降为(2.89±1.58) Wood 单位($t = 8.086, P < 0.001$)。右室心腔明显缩小,前后径由(34.83±7.86) mm 降为(24.32±4.77) mm($t = 8.348, P < 0.001$)。肺灌注缺损范围和程度亦明显改善:术前肺灌注缺损的肺段数为(13.79±2.11)个,术后为(5.52±2.82)个($t = 11.593, P < 0.001$);PPDs%从术前的(51.24±9.84)%减至术后的(31.86±11.87)%($t = 8.205, P < 0.001$)。

2. 残余肺动脉高压组与无残余肺动脉高压组肺血流动力学参数及肺灌注缺损情况的比较。37 例 CTEPH 患者中,11 例(29.7%,11/37)术后 mPAP 仍高于 30 mmHg,归为残余肺动脉高压组,余 26 例为无残余肺动脉高压组。残余肺动脉高压组与无残余肺动脉高压组患者比较,术前 mPAP[(55.64±9.92)与(47.92±11.82) mmHg; $t = -1.895, P > 0.05$]、肺动脉阻力[(13.02±5.82)与(8.90±4.99) Wood 单位; $t = -2.007, P > 0.05$]、右室前后径[(35.18±8.71)与(34.67±7.31) mm; $t = -0.182, P > 0.05$]均有偏高趋势,但差异无统计学意义。2 组术前肺灌注缺损的总肺段数差异亦无统计学意义[(14.27±2.24)与(14.08±2.08)个; $t = -0.256, P > 0.05$],但残余肺动脉高压组 PPDs%明显高于无残余肺动脉高压组[(57.48±5.88)%与(47.77±11.09)%; $t = -3.458, P = 0.002$]。

3. 术后有无残余肺动脉高压的影响因素。单因素分析结果(表 1)提示,男性[比值比(odds ratio, OR) = 0.167,95% CI:0.035~0.798, $P = 0.025$]及术前 PPDs%(OR = 1.111,95% CI:1.017~1.215, $P = 0.020$)是肺动脉血栓内膜剥脱术后仍有残余肺动

脉高压的影响因素。多因素分析结果提示,术前 PPDs%是术后残余肺动脉高压发生的影响因素(OR = 1.106,95% CI:1.006~1.216, $P = 0.036$),即术前肺灌注缺损程度越严重,越易出现术后残余肺动脉高压;男性不是术后残余肺动脉高压发生的影响因素(OR = 0.190,95% CI:0.035~1.040, $P = 0.055$)。典型患者显像图见图 1 和 2。

表 1 37 例 CTEPH 患者肺动脉血栓内膜剥脱术后残余肺动脉高压的单因素 logistic 分析结果

因素	比值比(OR)	95% CI	P 值
性别(男)	0.167	0.035~0.798	0.025
年龄(岁)	1.029	0.968~1.093	0.357
NYHA 心功能分级(I~II 级与 III~IV 级)	0.933	0.152~5.739	0.933
术前 PPDs%	1.111	1.017~1.215	0.020
灌注缺损肺段数(个)	1.575	0.303~8.175	0.589
mPAP(mmHg)	1.066	0.992~1.147	0.083
PAWP(mmHg)	1.002	0.832~1.207	0.982
PVR(Wood 单位)	1.143	0.988~1.324	0.072
心输出量(L/min)	0.758	0.385~1.494	0.424
心指数(L·min ⁻¹ ·m ⁻²)	0.912	0.253~3.284	0.887
右室室前后径(mm)	1.026	0.929~1.133	0.613
TAPSE(mm)	0.823	0.605~1.121	0.216
NT-proBNP(ng/L)	1.000	1.000~1.001	0.167
D-二聚体(mg/L)	0.775	0.406~1.477	0.438

注:1 mmHg=0.133 kPa;CTEPH 为慢性血栓栓塞性肺动脉高压,mPAP 为肺动脉平均压,NT-proBNP 为氨基末端脑钠肽前体,NYHA 为纽约心脏病协会,PAWP 为肺小动脉楔压,PPDs%为全肺灌注缺损百分比,PVR 为肺血管阻力,TAPSE 为三尖瓣环收缩期位移

讨 论

CTEPH 肺动脉内慢性血栓机化、肺动脉内膜增厚,导致肺动脉高压。肺动脉血栓内膜剥脱术是在深低温停循环下,通过剥脱双侧肺动脉内血栓以及增厚的内膜,来增加肺动脉灌注面积、改善双肺血流灌注,从而降低肺动脉压力及阻力。肺灌注显像可直观显示双肺血流灌注分布,有效反映手术对于肺血流灌注的改善情况。2006 年,有研究首次利用 V/Q 显像对 9 例行肺动脉血栓内膜剥脱术的 CTEPH 患者进行手术疗效评估,结果提示在手术迅速解除肺动脉高压的同时,CTEPH 患者双肺血流灌注在术后早期即得到明显改善,手术对肺血流灌注的恢复作用明显^[8]。2017 年,有研究利用断层 V/Q 显像对 16 例 CTEPH 患者行术前术后肺叶、肺段灌注改善的评价研究,取得了相似的结果^[9]。与上述文献报道结论一致,本研究针对 37 例 CTEPH 患者进行术前术后 V/Q 肺灌注评估,结果示肺动脉血栓内膜剥脱术后 CTEPH 患者 mPAP 及肺血管阻力

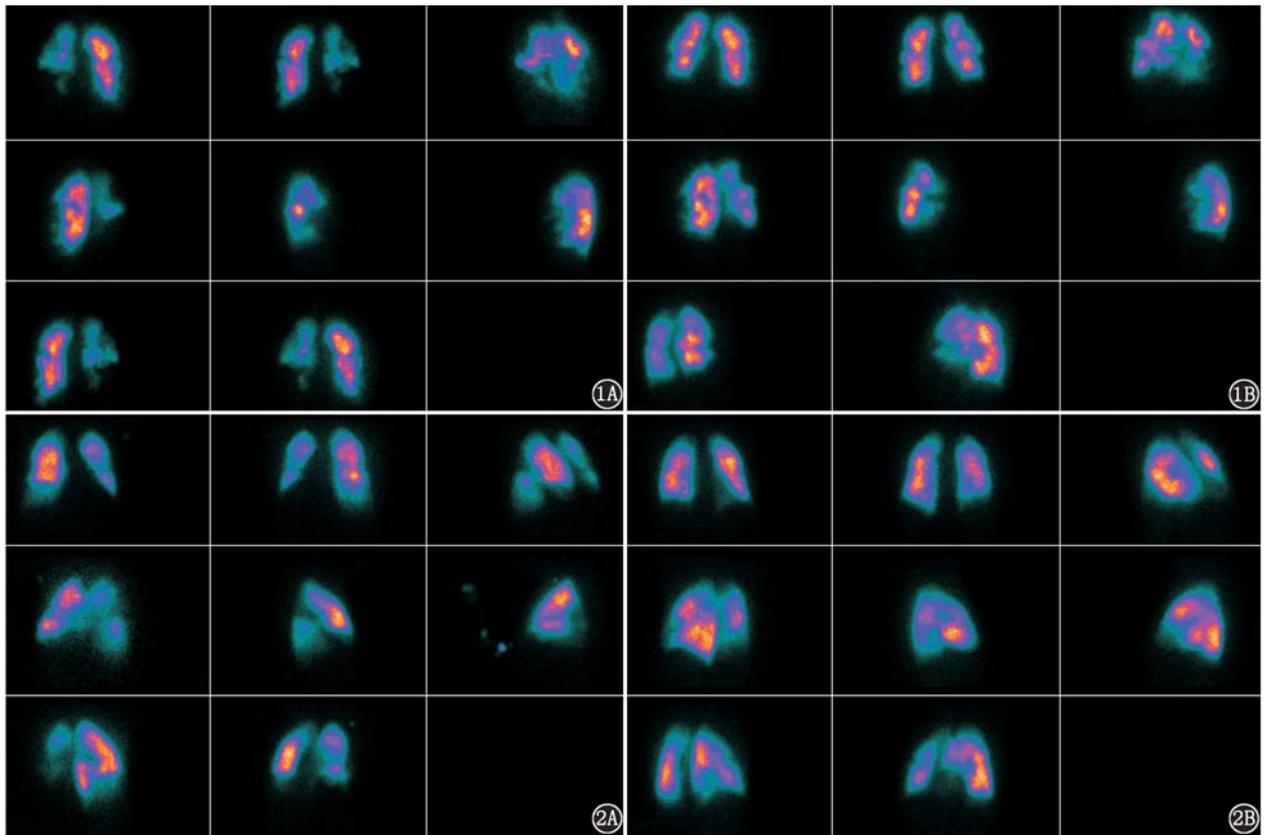


图 1 慢性血栓栓塞性肺动脉高压 (CTEPH) 患者 (女, 68 岁) 行肺动脉血栓内膜剥脱术前后肺灌注显像图 (1A. 术前; 1B. 术后)。1A. 术前右心导管测量肺动脉平均压 (mPAP) 48 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa), 肺血管阻力 10.55 Wood 单位; 肺灌注显像示双肺弥漫性多发肺段性及亚肺段性血流灌注严重受损, 灌注缺损肺段 16 个, 全肺灌注缺损百分比 (PPDs%) 57.25%; 1B. 术后患者 mPAP 50 mmHg, 肺血管阻力 6.78 Wood 单位; 术后双肺血流灌注改善, 但仍可见较多亚肺段性栓塞存在, 灌注缺损肺段 8 个, PPDs% 31.25% **图 2** CTEPH 患者 (男, 59 岁) 行肺动脉血栓内膜剥脱术前后肺灌注显像图 (2A. 术前; 2B. 术后)。2A. 术前 mPAP 63 mmHg, 肺血管阻力 14.75 Wood 单位; 肺灌注显像示双肺肺段性血流灌注受损, 灌注缺损肺段 15 个, PPDs% 44.25%; 2B. 术后 mPAP 17 mmHg, 肺血管阻力 1.83 Wood 单位; 术后双肺血流灌注明显改善, 灌注缺损肺段 6 个, PPDs% 19%

明显下降, 肺血流灌注缺损范围及程度明显改善; 残余肺动脉高压患者术前肺灌注缺损程度更严重, 术前肺灌注缺损程度可能与术后出现残余肺动脉高压相关。

本研究进一步发现, 29.7% (11/37) 的 CTEPH 患者在术后存在残余肺动脉高压。该结果与近年 1 项纳入 4 868 例 CTEPH 患者的荟萃分析结果相似 (25% 的残余肺动脉高压发生率)^[10]。肺动脉高压未得到完全缓解的原因可能为: 手术本身未进行有效彻底的血栓内膜剥脱, 或者手术无法到达段以下水平远端的血栓及肺小动脉病变^[11]。预测术后发生残余肺动脉高压对于 CTEPH 术前评估及术后个体化治疗管理有重要意义。Tanabe 等^[12]发现, 肺动脉造影分析毛细血管相胸膜下肺灌注不良征象是术后发生 mPAP>30 mmHg 和肺血管阻力降低<30% 的预测因子。研究者认为胸膜下肺灌注不良反映了弥漫性远端小栓塞导致的肺小血管病变。然而, 这一评价方

法采用的是有创的肺动脉造影, 使用受限, 且对操作者技能要求也较高。朱家德等^[13]研究发现, 利用 CT 评价的术后残存堵塞肺段数是决定术后肺动脉压力及阻力的关键因素, 肺血栓残存肺段数在 0~2 个时能取得最佳的血流动力学改善, 并认为术后残存堵塞肺段数≤2 个为彻底肺动脉血栓内膜剥脱的标志。与 CT 可清晰显示段以上水平肺血管通畅性不同, V/Q 显像从肺组织层面反映肺血流灌注, 尤其有利于发现段以下水平的微小肺栓塞病变。本研究通过肺 V/Q 显像获得半定量指标 PPDs%, 其在残余肺动脉高压组明显高于无残余肺动脉高压组, 并可预测术后残余肺动脉高压的发生。因此, 术前利用 V/Q 显像对肺血流灌注的缺损程度进行评估, 能有效反映包括远端小血管病变在内的全肺灌注缺损情况, 或可将其作为提示肺动脉血栓内膜剥脱手术疗效的指标。

本研究为回顾性研究, 在多因素回归分析时纳

入的残余肺动脉高压结局的影响因素可能有所缺失,未来需进一步完善大规模前瞻性研究,以进一步证实 V/Q 显像分析全肺灌注缺损程度对肺动脉血栓内膜剥脱术疗效的预测价值。综上,V/Q 显像可有效反映肺血栓内膜剥脱术的疗效,并可能在预测术后残余肺动脉高压方面有一定价值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Rahnavardi M, Yan TD, Cao C, et al. Pulmonary thromboendarterectomy for chronic thromboembolic pulmonary hypertension: a systematic review [J]. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 17(5): 435-445. DOI:10.5761/ates.0a.10.01653.
- [2] 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. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.110.015008.
- [3] Corsico AG, D'Armini AM, Cerveri I, et al. Long-term outcome after pulmonary endarterectomy [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2008, 178(4): 419-424. DOI:10.1164/rccm.200801-1010C.
- [4] Cannon JE, Su L, Kiely DG, et al. Dynamic risk stratification of patient long-term outcome after pulmonary endarterectomy: results from the United Kingdom National Cohort [J]. *Circulation*, 2016, 133(18): 1761-1771. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.115.019470.
- [5] 王蒙,汪蕾,方纬.肺通气/灌注显像在肺栓塞诊断中的现状及进展[J].*中华核医学与分子影像杂志*, 2020, 40(9): 563-566. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20190731-00155.
Wang M, Wang L, Fang W. Current status and progress of lung ventilation/perfusion imaging in the diagnosis of pulmonary embolism [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 40(9): 563-566. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20190731-00155.
- [6] 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 Heart J*, 2016, 37(1): 67-119. DOI:10.1093/eurheartj/ehv317.
- [7] Meyer G, Collignon MA, Guinet F, et al. Comparison of perfusion lung scanning and angiography in the estimation of vascular obstruction in acute pulmonary embolism [J]. *Eur J Nucl Med*, 1990, 17(6-8): 315-319. DOI:10.1007/BF01268022.
- [8] 方纬,史蓉芳,刘秀杰,等.^{99m}Tc-MAA 肺灌注显像评价肺动脉血栓内膜剥脱术疗效 [J]. *中华核医学杂志*, 2006, 26(6): 334-337. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2006.06.004.
Fang W, Shi RF, Liu XJ, et al. Evaluation of thromboendarterectomy by pulmonary perfusion imaging in patients with chronic pulmonary thrombo-embolic hypertension [J]. *Chin J Nucl Med*, 2006, 26(6): 334-337. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2006.06.004.
- [9] 席笑迎,陈碧希,高伟,等.肺灌注断层显像评价肺动脉血栓内膜剥脱术对慢性血栓栓塞性肺动脉高压的疗效 [J]. *中国医学影像技术*, 2017, 33(8): 1148-1152. DOI:10.13929/j.1003-3289.201703004.
Xi XY, Chen BX, Gao W, et al. Evaluating efficacy of pulmonary thromboendarterectomy in treatment of chronic thromboembolic pulmonary hypertension using pulmonary perfusion tomography [J]. *Chin J Med Imaging Technol*, 2017, 33(8): 1148-1152. DOI:10.13929/j.1003-3289.201703004.
- [10] Hsieh WC, Jansa P, Huang WC, et al. Residual pulmonary hypertension after pulmonary endarterectomy: a meta-analysis [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2018, 156(3): 1275-1287. DOI:10.1016/j.jtcvs.2018.04.110.
- [11] Braams NJ, Ruigrok D, Schokker M, et al. Pulmonary vascular imaging characteristics after pulmonary endarterectomy for chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2020, 39(3): 248-256. DOI:10.1016/j.healun.2019.11.020.
- [12] Tanabe N, Sugiura T, Jujo T, et al. Subpleural perfusion as a predictor for a poor surgical outcome in chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *Chest*, 2012, 141(4): 929-934. DOI:10.1378/chest.11-0769.
- [13] 朱家德,王海苹,邓隆,等.术后残存堵塞肺段数对肺动脉血栓内膜剥脱术效果的影响 [J]. *中国循环杂志*, 2019, 34(8): 790-795. DOI:10.3969/j.issn.1000-3614.2019.08.010.
Zhu JD, Wang HP, Deng L, et al. The influence of the residual occluded pulmonary segments on the surgical efficacy of pulmonary thromboendarterectomy [J]. *Chin Circul J*, 2019, 34(8): 790-795. DOI:10.3969/j.issn.1000-3614.2019.08.010.

(收稿日期:2020-11-23)