

· 论著 ·

心电门控双源 CTPA 评价急性肺栓塞及其右心室功能

朱洪基¹ 余建群² 彭礼清²

(1. 中国科学技术大学附属第一医院影像科, 安徽 合肥 230000; 2. 四川大学华西医院放射科, 四川 成都 610041)

【摘要】目的 探讨心电门控双源CT肺动脉血管成像(CTPA)在评价急性肺栓塞(APE)及其右心室功能的临床价值。**方法** 54例患者行回顾性心电门控CTPA检查后,经图像后处理并进行重建,观察肺动脉栓塞的分布、程度并计算肺栓塞指数,分析心功能。根据栓塞位置分为两组,中央型与周围型。比较有无肺栓塞患者右心功能参数组间差异;对比不同栓塞程度及栓塞部位组间心功能参数差异性。**结果** 肺栓塞组右室舒张末期容积及收缩末期容积均较无栓塞组高,右室射血分数(RVEF)值较无栓塞组减低($P < 0.05$),右室每搏量较无栓塞组减低,两组间差异无统计学意义($P > 0.05$)。随着栓塞程度加重,RVEF逐渐减低,且三组间RVEF整体差异有统计学意义($P > 0.05$)。中央型较周围型、无栓塞组RVEF明显减低,RVEF在三组间差异均有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** CTPA可准确地评价肺栓塞分布、程度及栓塞指数,评价的心功能对临床也具有一定的价值。

【关键词】 心电门控; 双源 CT; 肺栓塞; 心功能**【DOI】** 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2019.06.029

Evaluation of Acute Pulmonary Embolism and Its Right Ventricular Function by ECG Gated Dual-source CTPA

ZHU Hongji¹, YU Jianqun², PENG Liqing²

(1. Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei 230000, Anhui, China; 2. Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan, China)

【Abstract】Objective To investigate the clinical value of ECG-gated dual-source CTPA in evaluating acute pulmonary embolism and right ventricular function. **Methods** 54 patients underwent retrospective ECG-assisted CTPA examination, post-image reconstruction and reconstruction. The distribution and degree of pulmonary embolism were observed and the pulmonary embolism index was calculated to analyze cardiac function. According to the embolization position, it is divided into two groups, the central type and the surrounding type. The differences in right heart function parameters between patients with or without pulmonary embolism were compared. The differences in cardiac function parameters between different embolization groups and embolization sites were compared. **Results** RVEDV and RVESV were higher in the pulmonary embolism group than in the non-embolized group, and the RVEF value was lower than that in the non-embolized group ($P < 0.05$). The RVSV was lower than the non-embolized group, and the difference between the two groups was not statistically significant ($P > 0.05$). As the degree of embolization increased, RVEF gradually decreased, and the overall difference in RVEF between the three groups was statistically significant ($P < 0.05$). The central type of RVEF was significantly lower than the surrounding type and non-embolized group. The difference of RVEF between the three groups was statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** CTPA can accurately evaluate the distribution, extent and embolism index of pulmonary embolism. The evaluated cardiac function also has certain value in clinical practice.

【Key words】 ECG-gated; Dual-source CT; Pulmonary embolism; Cardiac function

随着 CT 时间和空间分辨率的提高,尤其是双源 CT 扫描时间短、分辨率高、辐射剂量低,临床运用越来越广泛。常规 CT 肺动脉血管成像(CT pulmonary angiography, CTPA)可清晰地显示栓塞部位及程度,已成为首选影像学检查方法,广泛地应用于临床^[1-3]。然而,过去大多数只注重急性肺栓塞(acute pulmonary embolism, APE)的诊断,对右心功能的评价甚少。文献表明常规 CTPA 辅助心电门控技术也非常适合评价心室功能^[4-6]。因此,综合评价 APE 及右心功能尤为重要,本文旨在用双源 CTPA 辅助回顾性心电门控技术评价肺动脉栓塞的特征及其右心室功能变化特点。

1 材料和方法

1.1 研究对象

收集四川大学华西医院放射科 2016-08-01—2017-04-29 临床怀疑 APE 的患者。纳入标准:急性起病,临床症状或实验室检查结果疑为 APE 的患者。排除标准:肌酐清除率 <50 mL/min、心律失常、血流动力学不稳定、造影剂过敏、怀孕妇女、临床资料不完整、图像质量不符合要求、无法评价心功能。根据纳入和排除标准,最终纳入研究共 54 例,行心电门控下 CTPA 检查。

APE 诊断标准为在 CTPA 上至少一支肺动脉内见低密度充盈缺损影。根据有无栓塞分为栓塞组和正常组,栓塞组根据栓塞位置进一步分为中央型组及周围型组。其中栓塞位于叶及以上肺动脉定义为中央型栓塞,栓子位于段及亚段肺动脉为周围型栓塞,正常组即在肺动脉各级分支内未见充盈缺损影。

共有 APE 患者 28 例,年龄(58.6±13.0)岁(21~78 岁),男性 17 例,女性 11 例。正常组 26 例,年龄(55.0±18.0)岁(23~89 岁),男性 14 例,女性 12 例。

1.2 扫描方式及参数

扫描方式:所有检查均采用回顾性心电门控,ECG-Plusing 选择 minidose-manual 减少辐射量,范围选择 50%~50%。所有病例均采用西门子公司双源 CT(SOMATOM Definition Flash, Siemens Medical Solution, Germany)扫描。选用非离子型造影剂经肘静脉注入,总量 100 mL,速率为 4.0 mL/s,采用自动高压注射器注射。采取团注追踪法,兴趣区(region of interest)定在左心房,阈值设为 100 HU,当 CT 值达 100 HU 时,再延迟 10 s 后触发扫描系统。扫描参数:管电压 80~100 kV,管电流 100~250 mAS,使用 CARE-kV 及 CareDose 4D 技术根据体型调节管电压及管电流,准直器:128×0.6 mm,机架旋转时间为 0.33 s,层厚 0.75 mm,螺距为 0.2~0.5,与心率相适

应,重建层厚 0.75 mm,Kernel: B26f。

1.3 数据处理及分析

1.3.1 CT 肺栓塞指数

APE 程度用 Qanadli 栓塞指数^[7]分析:首先,每侧肺动脉分成 10 支段动脉,1 支段动脉部分阻塞计 1 分,全部阻塞计 2 分;亚段级肺动脉栓塞,计为其所属段级肺动脉部分栓塞,计为 1 分;近端肺动脉栓塞的评分等于其分支肺动脉栓塞所得分支之和。最大的 CT 阻塞评分为 40 分,其计分总和除以 40 即为肺动脉栓塞指数。Qanadli 评分=[$\sum(n \times d)$ / 40] × 100%,其中 n 表示栓塞数目,最大值为 20, d 表示栓塞程度,部分栓塞计为 1,完全栓塞计为 2,无栓塞计为 0。根据肺动脉栓塞指数确定 APE 严重程度的分级:栓塞指数 <30% 为轻度,30%~50% 为中度,>50% 为重度。

1.3.2 左右心室最大直径的测量

(1)心室最大直径定义为心室内膜游离壁至室间隔的最大距离;(2)分别于轴位及重建四腔心层面测量左右心室最大内径;(3)左右心室最大内径不要求位于同一平面。见图 1。

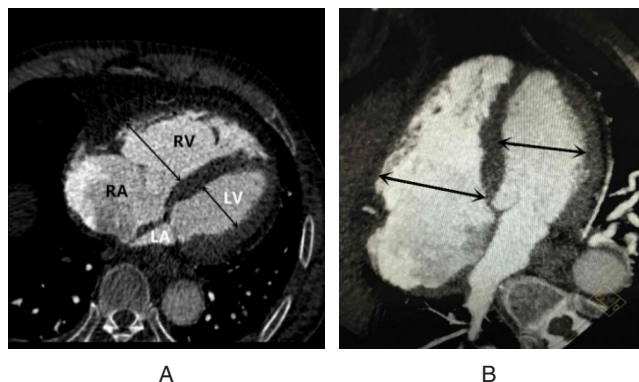


图 1 分别于轴位(图 A)及四腔心层面(图 B)测量左右心室最大内径(心室内膜游离壁距室间隔的最大距离)

1.3.3 右心功能分析

在双源 CT 工作站对原始图像行 10% R-R 间期 0%~90% 10 期重建,然后将重建后图像导入分析软件 D 盘数据库中,图像处理及计算步骤如下:(1)调整窗宽、窗位以便清晰地观察心腔及心脏瓣膜;(2)SIMENS 专用心脏分析软件先自动勾画出各个心腔、心内膜及心外膜,心室流出道也包括在内,如软件勾画轮廓不精确,即在此基础上手动微调,之后软件可得出最终的心功能参数:每搏量、射血分数、舒张末期容积(end diastolic volume, EDV),以及收缩末期容积(end systolic volume, ESV)。见图 2。

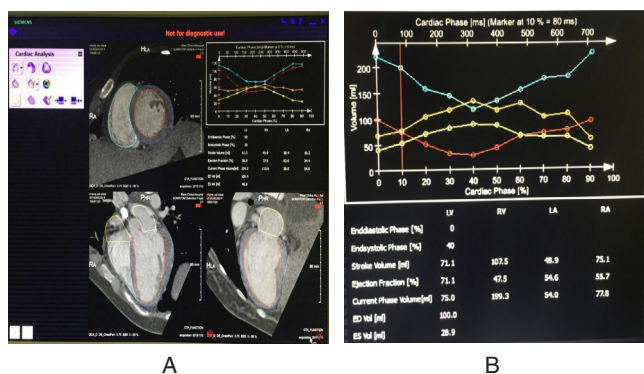


图2 A 心脏分析软件自动勾画各心腔轮廓,包括心室流出道,之后手动微调图。B 软件最终分析得出心功能参数

1.3.4 统计分析

采用 IBM SPSS statistics 22 软件,在所有检验中 P 值 <0.05 被认为有统计学意义。所有的值 [右室舒张末期容积 (right ventricle end diastolic volume, RVEDV)、右室收缩末期容积 (right ventricle end systolic volume, RVESV)、右室每搏量 (right ventricle stroke volume, RVSV)、右室射血分数 (right ventricle ejection fraction, RVEF)、右心室与左心室最大直径比 (RV/LV dimension ratio, RVd/LVd)、右心室与左心室容积比 (RV/LV volume ratio, RV/LVvol)] 用频率、百分数、平均值 \pm 标准差、 t 检验和方差分析组与组间的连续变量差异,组间频率的比较使用卡方检验和 Fisher 精确检验。

2 结果

2.1 APE 的分布及程度

本组 54 例患者经临床及影像确诊为 APE 的患者 28 例,中央型 17 例,周围型 11 例。共栓塞 289 处,其中栓子位于肺动脉分叉处 3 例,右肺动脉及其分支 176 处受累,左肺动脉及其分支 113 处受累,其中以右肺下叶及其分支受累最常见 (20 例, 71.4%)。

按照 Qanadli 栓塞指数评分 (%): 28 例 APE 患者总的评分为 $(45.00 \pm 27.28)\%$, 17 例中央型 APE 评分为 $(63.53 \pm 18.39)\%$, 11 例周围型 APE 评分为 $(16.36 \pm 4.92)\%$ 。根据栓塞程度的分级,将患者分为轻度组 (11 例)、中度组 (3 例) 和重度组 (14 例),三组的 CT 肺栓塞指数分别为 $(16.36 \pm 0.05)\%$ 、 $(31.67 \pm 0.03)\%$ 和 $(70.36 \pm 0.13)\%$,中位数分别为 17.50%、30.00% 和 70.00%。

2.2 有无 APE 右心功能比较分析

28 例 APE 患者 RVEDV 及 RVESV 均较无栓塞

组高 $[(189.6 \pm 66.6) \text{ mL vs } (160.4 \pm 24.4) \text{ mL}, (111.7 \pm 49.5) \text{ mL vs } (78.0 \pm 11.6) \text{ mL}, P < 0.05]$; RVEF 值较无栓塞组减低 $[(42.3 \pm 7.8)\% \text{ vs } (51.1 \pm 4.7)\%, P < 0.05]$; RVSV 较无栓塞组减低,两组间差异无统计学意义 (表 1)。

表 1 有无栓塞组右心功能参数比较

	APE 组 ($n=28$)	无 APE 组 ($n=26$)	P 值
RVEDV (mL)	189.6 ± 66.6	160.4 ± 24.4	0.037
RVESV (mL)	111.7 ± 49.5	78.0 ± 11.6	0.001
RVSV (mL)	77.8 ± 23.7	82.0 ± 16.0	0.452
RVEF (%)	42.3 ± 7.8	51.1 ± 4.7	0.000

2.3 不同栓塞程度右心功能比较分析

11 例轻度栓塞组平均 RVEF $>45\%$, 其中 6 例 RVEF 低于正常; 中重度栓塞组 RVEF 均 $<45\%$, 3 例中度 APE 患者中 2 例 (67%) RVEF 小于正常, 14 例重度 APE 患者中 11 例 (79%) RVEF 小于正常。随着栓塞程度加重, RVEF 逐渐减低, 且三组间 RVEF 整体差异有统计学意义 (表 2)。

表 2 不同栓塞程度右心功能参数比较

	轻度 ($n=11$)	中度 ($n=3$)	重度 ($n=14$)
RVEDV (mL)	144.4 ± 40.8	$245.2 \pm 60.6 (0.005)$	$213.6 \pm 65.4 (0.004)$
RVESV (mL)	75.7 ± 26.2	$145.1 \pm 46.5 (0.004)$	$132.8 \pm 48.9 (0.001)$
RVSV (mL)	66.1 ± 20.6	$100.1 \pm 14.5 (0.021)$	$82.3 \pm 23.6 (0.085)$
RVEF (%)	46.2 ± 8.0	$41.6 \pm 5.0 (0.367)$	$39.5 \pm 7.2 (0.036)$

2.4 不同栓塞部位心功能参数比较分析

17 例中央型栓塞组平均 RVEF $<45\%$, 其中 5 例 (29%) RVEF 正常; 11 例周围型栓塞组平均 RVEF $>45\%$, 其中 6 例 (55%) RVEF 正常。中央型较周围型、无栓塞组 RVEF 明显减低, RVEF 在中央型、周围型及无栓塞三组间差异均有统计学意义 (表 3)。

对于 RVd/LVd, 中央型与周围型比值均 >1 , 无栓塞组均 <1 , 中央型较周围型比值明显高。16 例 (16/17, 94%) 中央型 RVd/LVd >1 , 其中 6 例 (6/17, 35%) RVd/LVd >1.5 ; 8 例 (8/11, 73%) 周围型 RVd/LVd >1 。中央型与周围型 RV/LVvol 均 >1.266 , 无栓塞组 <1.266 。三组间容积参数及直径参数两两比较均有统计学意义, 容积参数较直径参数组间差异更显著; 与轴位直径相比, 四腔心层面直径比值差异更显著 (表 3)。

表 3 不同栓塞部位心功能参数比较

	中央型 APE (n=17)	周围型 APE (n=11)	无 APE (n=26)
RVESV (mL)	135.0±47.3	75.7±26.2(0.000)	78.0±11.6(0.000)
RVEF (%)	39.9±6.8	46.3±8.0(0.031)	51.1±4.7(0.000)
RV/LVvol			
EDV	1.49±0.79	1.34±0.46(0.003)	1.14±0.21(0.000)
ESV	1.51±1.83	1.31±1.51(0.004)	1.03±1.48(0.000)
RVd/LVd			
轴位	1.43±0.40	1.07±0.15(0.045)	0.99±0.13(0.001)
四腔心	1.40±0.38	1.07±0.17(0.013)	0.95±0.11(0.000)

3 讨论

APE 是内源性或外源性栓子阻塞肺动脉系统或其分支引起肺循环障碍的临床和病理生理综合征^[8]。特别是较大血管及范围的 APE，肺通气 / 灌注的分布改变，心脏和肺血管阻力增加，导致低氧血症、高碳酸血症及右心衰竭，引起一系列病理生理变化，产生多种临床变化，严重者可危及生命^[9-12]。因此明确 APE 所引起的右心室功能不全的程度，是提高抢救成功率、改善预后的关键。本次研究用心电门控双源 CTPA 综合评价 APE 及其导致的右心室功能变化，为临床提供更多的信息。

3.1 有无 APE 的右心功能评价

本组 28 例不同程度 APE 患者的右心功能减低，RVEDV 及 RVESV 均较正常组高 [(189.6±66.6) mL vs (160.4±24.4) mL, (111.7±49.5) mL vs (78.0±11.6) mL, $P<0.05$]，RVEF 值较正常组减低 [(42.3±7.8) mL vs (51.1±4.7) mL $P<0.05$]，组间差异均具有统计学意义 (表 1)。这是因为栓塞后的肺动脉受机械、体液或反射因素的影响，肺循环阻力增加，肺动脉压升高，右心室后负荷增加，当后负荷增加到一定程度时，心排血量减低，舒张及收缩末期容积增加，可引起右心衰竭^[13-14]。

3.2 不同栓塞程度及栓塞部位心功能评价

本研究比较不同栓塞程度与右心功能参数之间的关系，结果显示中重度栓塞组 RVEF 均低于正常 (表 2)。理论上肺动脉被栓子阻塞后，随着栓塞程度的不断增大，肺动脉压力及右心室后负荷不断增高，RVEF 会逐渐降低，然而肺血管床具有一定的储备力，可承受相当大的肺栓塞^[15-16]。所以在本组研究中，尽管肺动脉不同程度栓塞，RVEF 呈逐渐降低的趋势，但每组均有心功能正常的患者，其中 3 例中度 APE 患者中 1 例 (33%) RVEF 正常，14 例重度 APE 患者中 3 例 (21%) RVEF 正常，但总体 RVEF 在三组呈现逐渐降低的趋势，且三组间差异有统计学意义。本研究另根据栓子

的部位分为中央型 (17 例)、周围型 (11 例) 及无栓塞组 (26 例)，比较不同栓塞部位与右心功能参数之间的关系，结果显示 17 例中央型栓塞组平均 RVEF<45%，其中 12 例 (71%) RVEF 低于正常；而 11 例周围型栓塞组平均 RVEF>45%，其中 5 例 (45%) RVEF 低于正常，中央型较周围型栓塞组 RVEF 明显减低 [(39.9±6.8) mL vs (46.3±8.0) mL] (表 3)。由此表明中央型与周围型栓塞相比，前者对右心功能影响更大，右心功能减低更明显，与文献报道相符^[5,17]。

本研究还采用二维测量左右心室最大直径，包括轴位及重建四腔心层面，以及三维容积比值等心功能参数 (表 3)。目前，RVd/LVd >1 被认为是 CTPA 诊断右心室功能不全的可靠征象，与 APE 的严重程度有一定的相关性^[17]。本研究中，对于 RVd/LVd，中央型与周围型栓塞组均 >1，有 16 例 (16/17, 94%) 中央型 RVd/LVd >1，有 8 例 (8/11, 73%) 周围型 RVd/LVd >1，无栓塞组 RVd/LVd >1，总体组间差异有统计学意义。此外，本组研究中央型 APE 患者中有 6 例 (6/17, 35%) RVd/LVd >1.5，根据文献报道^[18-21]，RVd/LVd >1.5 提示严重的右心功能不全。因此，对于这类患者早期密切的干预很重要。然而，右心室相对于左心室而言，其形态结构更为复杂且不规则，常规 CTPA 测量的直径往往会高估或低估心腔在舒张末期及收缩末期的实际大小。根据 Altmayer 等^[22]的研究结果，RV/LVvol 正常值为 0.906~1.226，超过 1.27 定义为右心室扩张。本研究中，中央型及周围型容积比均 >1.27，且中央型较周围型右心室扩张更加显著 (表 3)。

随着多排螺旋探测器的迅速发展，时间和空间分辨率的提高，特别是双源 CT，扫描时间短、分辨率高、辐射剂量低，CTPA 能良好地显示肺动脉，对肺动脉栓子的有无、栓子的形态、大小及其分布能准确而清晰地显示，从而做出 APE 的诊断。64 排及以上的多排螺旋 CT 能进行肺动脉血管成像显示肺动脉的情况，同时也可显示心脏的形态及大小；若采用心电门控扫描，可获得心脏全周期数据，通过图像后处理，获得心脏收缩及舒张末期的心腔大小，对心脏形态和功能均可进行评价。因此，CTPA 辅助心电门控技术补充了右心功能方面的不足，为临床 APE 患者病情评估及治疗方案选择提供了影像学依据。

参考文献

- [1] van der Hulle T, Cheung WY, Kooij S, et al. Simplified diagnostic management of suspected pulmonary embolism (the YEARS study): a prospective, multicentre, cohort study [J]. *Lancet*, 2017, 390(10091): 289-297.

- [2] Murphy A, Cheng J, Pratap J, et al. Dual-energy computed tomography pulmonary angiography: comparison of vessel enhancement between linear blended and virtual monoenergetic reconstruction techniques[J]. *J Med Imaging Radiat Sci*, 2019, 50(1):62-67.
- [3] 陈晓艺, 彭礼清, 刘静, 等. 双源计算机断层扫描评价卵圆孔未闭在心动周期中的动态特征[J]. *心血管病学进展*, 2019, 40(4):645-649.
- [4] Guo ZJ, Liu HT, Bai ZM, et al. A new method of CT for the cardiac measurement: correlation of computed tomography measured cardiac parameters and pulmonary obstruction index to assess cardiac morphological changes in acute pulmonary embolism patients[J]. *J Thromb Thrombolysis*, 2018, 45(3):410-416.
- [5] Liang HW, Zhao DL, Liu XD. ECG-gated pulmonary artery CTA for evaluation of right ventricular function in patients with acute pulmonary embolism[J]. *Echocardiography*, 2017, 34(2):257-263.
- [6] Gutte H, Mortensen J, Mørk ML. Non-ECG-gated CT pulmonary angiography and the prediction of right ventricular dysfunction in patients suspected of pulmonary embolism[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2017, 37(6):575-581.
- [7] Apfalter P, Henzler T, Meyer M, et al. Correlation of CT angiographic pulmonary artery obstruction scores with right ventricular dysfunction and clinical outcome in patients with acute pulmonary embolism[J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81(10):2867-2871.
- [8] Doherty S. Pulmonary embolism An update[J]. *Aust Fam Physician*, 2017, 46(11): 816-820.
- [9] Kausar S, Khan HS, Nazir MT, et al. Acute Pulmonary Embolism: Presentation, Diagnosis, Management and Factors Impacting Clinical Outcome in a Tertiary Cardiac Centre in Pakistan[J]. *J Coll Physicians Surg Pak*, 2019, 29(8):749-752.
- [10] Becattini C, Agnelli G. Risk stratification and management of acute pulmonary embolism[J]. *Hematol Am Soc Hematol Educ Program*, 2016, 2016(1):404-412.
- [11] Keller K, Beule J, Coldewey M. Heart rate in pulmonary embolism[J]. *Intern Emerg Med*, 2015, 10(6):663-669.
- [12] 边圆, 陈玉国, 徐峰. 急性心力衰竭诊治流程进展[J]. *心血管病学进展*, 2018, 38(2):113-118.
- [13] Pinsky MR. The right ventricle: interaction with the pulmonary circulation[J]. *Crit Care*, 2016, 10(20):266.
- [14] Dutta T, Frishman WH, Aronow WS. Echocardiography in the evaluation of pulmonary embolism[J]. *Cardiol Rev*, 2017, 25(6):309-314.
- [15] Barrios D, Morillo R, Lobo JL, et al. Assessment of right ventricular function in acute pulmonary embolism: a speckle tracking echocardiography-based study[J]. *Echocardiography*, 2017, 185(5):123-129.
- [16] Ramberg E, Olausson M, Jørgensen TB, et al. Right atrial and ventricular function evaluated with speckle tracking in patients with acute pulmonary embolism[J]. *Am J Emerg Med*, 2017, 35(1):136-143.
- [17] Varol K, Gumus C, Yucel H, et al. Correlation of right ventricular dysfunction on acute pulmonary embolism with pulmonary artery computed tomography obstruction index ratio (PACTOIR) and comparison with echocardiography[J]. *Jpn J Radiol*, 2015, 33(6):311-316.
- [18] Cok G, Tasbakan MS, Ceylan N, et al. Can we use CT pulmonary angiography as an alternative to echocardiography in determining right ventricular dysfunction and its severity in patients with acute pulmonary thromboembolism? [J]. *Jpn J Radiol*, 2013, 31(3):172-178.
- [19] Kang DK, Ramos-Duran L, Schoepf UJ, et al. Reproducibility of CT signs of right ventricular dysfunction in acute pulmonary embolism[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2010, 194(6):1500-1506.
- [20] Jia D, Zhou XM, Hou G. Estimation of right ventricular dysfunction by computed tomography pulmonary angiography: a valuable adjunct for evaluating the severity of acute pulmonary embolism[J]. *J Thromb Thrombolysis*, 2017, 43(2):271-278.
- [21] Osman AM, Abdeldayem EH. Value of CT pulmonary angiography to predict short-term outcome in patient with pulmonary embolism[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2018, 34(6):975-983.
- [22] Altmayer SP, Patel AR, Addetia K, et al. Cardiac MRI right ventricle/left ventricle(RV/LV) volume ratio improves detection of RV enlargement[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2015, 9(10):1-5.

收稿日期: 2019-08-03