

双能量 CT 鉴别急慢性肺血栓栓塞的初步研究

杨熙斌, 郭君武, 但锐, 赵文敬, 丁楠

【摘要】 目的:探讨 DECT 肺血管成像技术对急、慢性肺栓塞(APTE、CPTE)的诊断价值。**方法:**选取经临床确诊的肺栓塞患者 36 例,其中急性组(APTE)21 例,慢性组(CPTE)15 例,所有患者行 DECT 肺血管成像扫描,记录患者的基本临床资料,定量分析 APTE 和 CPTE 组中主肺动脉干(MPA)和栓子的增强 CT 值、强化值(Δ CT)和碘浓度(IC),计算两个部位各参数的比值(R_{CT} 、 $R_{\Delta CT}$ 和 R_{IC}),并对两组中各参数的差异进行统计学分析。**结果:**APTE 和 CPTE 组中栓子的增强 CT 值分别为 (33.98 ± 10.31) 和 (53.90 ± 7.64) HU, Δ CT 值分别为 (21.00 ± 9.10) 和 (33.63 ± 7.34) HU,IC 值分别为 (1.14 ± 0.48) 和 (1.84 ± 0.49) mg/mL;3 个参数值的组间差异均有统计学意义($P < 0.05$)。两组中 R_{CT} 值分别为 0.135 ± 0.067 和 0.190 ± 0.034 , $R_{\Delta CT}$ 值分别为 0.029 ± 0.007 和 0.096 ± 0.032 , R_{IC} 值分别为 0.106 ± 0.038 和 0.157 ± 0.047 ;各项比值的组间差异均有统计学意义($P < 0.05$)。两组中患者的 D-2 聚体浓度分别为 (12.07 ± 11.74) 和 (1.64 ± 1.20) mg/L,右心室与左心室短径比值(RVd/LVd)分别为 0.99 ± 0.14 和 0.90 ± 0.09 ,组间差异均有统计学意义($P < 0.05$)。**结论:**DECT 肺血管成像定量分析技术可鉴别急性和慢性肺栓塞。

【关键词】 急性肺栓塞;慢性肺栓塞;体层摄影术,X 线计算机;双能量 CT

【中图分类号】 R543.2;R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)12-1251-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.12.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A preliminary study on the differential diagnosis of acute and chronic pulmonary thromboembolism using dual-energy CT YANG Xi-bin, LI Wei-wei, DAN Kun, et al. Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China

【Abstract】 Objective: To explore the value of dual-energy CT (DECT) pulmonary angiography in diagnosis of acute and chronic pulmonary thromboembolism (APTE, CPTE). **Methods:** 36 patients with clinically diagnosed APTE ($n=21$) or CPTE ($n=15$) were included in this study, and their main clinical data were recored. All patients underwent DECT pulmonary angiography. Enhanced CT value, iodine-related CT value (Δ CT) and iodine concentration value (IC) of emboli and main pulmonary artery (MPA) were quantitatively analyzed, and the ratio of these parameters (R_{CT} , $R_{\Delta CT}$, and R_{IC}) were calculated. The differences of parameters mentioned above between APTE and CPTE groups were statistically analyzed. **Results:** There were significant differences in the enhanced CT, Δ CT and IC values of emboli in pulmonary artery between APTE and CPTE groups [(33.98 ± 10.31) vs (53.90 ± 7.64) HU; (21.00 ± 9.10) vs (33.63 ± 7.34) HU and (1.14 ± 0.48) vs (1.84 ± 0.49) mg/mL; all $P < 0.05$]. Significant differences were observed also in the R_{CT} , $R_{\Delta CT}$ and R_{IC} between the two groups (all $P < 0.05$); The R_{CT} , $R_{\Delta CT}$, and R_{IC} values in APTE and CPTE groups were (0.135 ± 0.067) vs (0.190 ± 0.034) , (0.029 ± 0.007) vs (0.096 ± 0.032) and (0.106 ± 0.038) vs (0.157 ± 0.047) , respectively. There were also significant differences in the D-dimer and RVd/LVd values between the two groups (both $P < 0.05$); D-dimer and ratio of right and left ventricular maximum diameter on short axis (RVd/LVd) were (12.07 ± 11.74) vs (1.64 ± 1.20) mg/L and (0.99 ± 0.14) vs (0.90 ± 0.09) , respectively. **Conclusion:** Quantitative analysis of DECT pulmonary angiography can be used to differentiate APTE and CPTE.

【Key words】 Acute pulmonary thromboembolism; Chronic pulmonary thromboembolism; Tomography, X-ray computed; Dual energy CT

作者单位:450000 郑州,郑州大学第二附属医院放射科

作者简介:杨熙斌(1991-),男,甘肃天水人,硕士研究生,主要从事双能量 CT 在心血管疾病中的应用研究。

通讯作者:郭君武, E-mail: gujuwu@sina.com

肺栓塞(pulmonary embolism, PE)是第三大常见心血管疾病,系因深静脉血栓栓子经右心流入到肺动脉及其分支,影响肺组织的血液供应而产生一系列临床症状及体征。近几年来 PE 的发病率有所增加,每年新确诊的 PE 患者的人群发病率由过去的 1% 上升至 2% 左右^[1-2]。临床上根据病程将 PE 分为急性(acute pulmonary thromboembolism, APTE)和慢性肺血栓栓塞(chronic pulmonary thromboembolism, CPTE)两个阶段,两者的治疗方案和预后各不相同,早期诊断和治疗可显著改善患者的预后^[3]。因此,利用双能 CT(dual energy computed tomography, DECT)肺血管成像技术区分 APTE 和 CPTE,对临床明确诊断和制订治疗方案具有重要意义。目前,国内已有较多研究证实 CT 肺血管成像(CT pulmonary angiography, CTPA)能够准确诊断 PE,结合双能 CT 肺灌注成像(dual energy perfusion imaging, DEPI)能提高对外周型 PE 的诊断准确性^[4-5]。但对于 CTPA 应用于 APTE 与 CPTE 的鉴别诊断方面的研究报道较少,本研究旨在分析 DECT 肺血管成像技术对鉴别 APTE 和 CPTE 的临床应用价值。

材料与方法

1. 病例资料

将 180 例经临床确诊为 PE 的患者纳入观察,最终选取符合纳入标准的 36 例患者进行研究分析。纳入标准:①临床确诊为 PE,栓子位于Ⅲ级及以上肺动脉内且长径 > 5 mm;②D-2 聚体增高;③无严重心、肝、肾功能不全者;④无碘对比剂过敏;⑤患者能配合检查,图像质量满足诊断要求。

APTE 诊断标准:参照欧洲心脏病学学会(ESC)2014 年急性肺栓塞诊疗指南^[6],首先对可疑 PE 患者进行临床可能性评估,然后进行初始危险分层,最后逐级选择检查手段明确诊断。CPTE 诊断标准:①同一部位 3 个月前曾出现过肺栓塞,合并肺动脉高压、且肺动脉主干直径 > 33 mm^[7];②放射性核素显像显示相应部位的肺组织存在肺通气/灌注不匹配;③CTPA 示肺动脉管腔完全阻塞或偏心型充盈缺损。

36 例中 APTE 患者 21 例(A 组),男 9 例,女 12 例,平均年龄(59.7 ± 9.3)岁;CPTE 患者 15 例(B 组),男 7 例,女 8 例,平均年龄(61.6 ± 8.6)岁。记录患者的主要临床资料。CT 检查前所有患者或家属了解此次研究方案后签署知情同意书。

2. 检查方法

使用 GE Discovery CT750 HD 64 排多探头 CT 扫描仪。先行平扫,再采用能谱成像技术(gemstone spectral imaging, GSI)进行增强扫描,扫描方向为自

足至头,扫描范围为胸廓入口至膈肌水平。扫描参数:40~140 kV, 630 mAs,螺距 1.375,探测器宽度 64 × 0.625 mm;X 线球管旋转一周的时间 0.5 s,层厚 1 mm。增强扫描使用对比剂碘帕醇(300 mg I/mL),先采用小剂量团注法:使用双筒高压注射器经肘静脉注射 10 mL 对比剂,流率为 4.5 mL/s,然后以相同的流率注射 30 mL 生理盐水。行 CTPA 扫描,计算出主肺动脉(main pulmonary artery, MPA)的强化峰值时间(T_{peak});接着以同样的流率注射 50~90 mL 碘帕醇和 40 mL 生理盐水,延迟 $T_{peak} + 4s$ 启动增强扫描。

3. 图像后处理及数据分析

由两位胸部 CT 诊断经验超过 10 年的放射科医师采用双盲法进行数据分析。所有扫描数据均在 GE 工作站上使用双能量后处理软件(volume share 5)进行处理和读取,主要对比观察三组图像,包括 70 KeV 单能量增强图像(接近于常规 120 kV 增强图像)、MSI(material suppressed iodine, MSI)非增强图像(接近于常规 120 kV 平扫图像)和碘/水图像。在三组图像上选择栓子面积最大的层面,于栓子内和 MPA 管腔内勾画椭圆形 ROI,尽量使 ROI 的形状和面积保持一致。测量各 ROI 的 CT 值,分别记录为 $CT_{增强}$ 、 CT_{MSI} 和碘浓度(iodine concentration, IC)值。以上每组数据均测量 3 次,取其平均值并记录。计算栓子和 MPA 的强化 CT 值($\Delta CT = CT_{MSI} - CT_{增强}$)及两者间 $CT_{增强}$ 、 ΔCT 和 IC 值的比值(R_{CT} 、 $R_{\Delta CT}$ 和 R_{IC})。随后,在三尖瓣水平位置测量右心室短最大短轴距离(diameter of right ventricular, RVd),在二尖瓣水平位置最宽处测量左心室最大短轴距离(diameter of left ventricular, LVd),计算两者的比值(RVd/LVd),即右心室与左心室的短径比。

图像质量的主观评价采用 5 分法^[8],评分为 3~5 分者符合临床诊断要求。图像质量的客观评价:测量和计算图像的信号噪声比(signal noise ratio, SNR)、对比噪声比(contrast noise ratio, CNR)。计算 CTPA 扫描的辐射剂量指标,包括剂量长度乘积(dose length product, DLP)、CT 容积剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)和有效剂量(effective dose, ED)。

4. 统计学分析

使用 SPSS 17.0 统计软件进行数据分析。两组中计数资料的比较采用 χ^2 检验,计量资料中符合正态分布的数据采用两独立样本 t 检验,不符合正态分布的数据采用非参数秩和检验。以 $P < 0.05$ (双侧)为差异有统计学意义。

结果

由于本研究中符合实验要求的患者例数偏少(样

本量较小),因此对两位放射科医师测量的CT_{增强}值和IC值先采用Bland-Altman方法进行一致性分析(图1~2),结果显示两者测量数据的一致性在所接受的偏倚区间内,两者CT_{增强}测量值之间的平均差值为-0.29 HU(95%CI: -4.413~3.834 HU),IC测量值的平均差值为-0.02 mg/mL(95%CI: -0.163~0.124 mg/mL)。

36例患者的基本临床资料及统计分析结果见表1。33例患者的血清内D-2聚体浓度均高于正常参考值(0.5 mg/L),APTE组中患者血清内D-2聚体的浓度显著高于CPTE组,两组间的差异有统计学意义($P<0.001$)。两组间其它临床指标的差异无统计学意义($P>0.05$)。两组的图像质量评分和扫描的辐射剂量的差异均无统计学意义($P>0.05$),详见表2。

表1 两组患者主要临床资料的对比

指标	APTE	CPTE	统计量	P值
年龄(岁)	59.7±9.3	61.6±8.6	-0.691	0.489
性别比(男/女)	9/12	7/8	1.440 ^a	0.487
体质指数(kg/m ²)	23.14±3.04	23.48±3.11	-0.335	0.739
心率(次/分)	75.95±10.17	73.60±8.39	-0.596	0.551
下肢DVE*(例)	5(5/21)	2(2/15)	0.613 ^a	0.434
近期手术史(例)	3(3/21)	1(1/15)	0.514 ^a	0.473
高危 [#] (例)	2(2/21)	2(2/15)	0.129 ^a	0.720
D-2聚体(mg/L)	12.07±11.74	1.64±1.20	-4.893	0.000

注:* DVE为深静脉血栓。[#]本研究中高危指潜在恶性肿瘤患者,即5项肿瘤标志物(癌胚抗原、甲胎蛋白、糖类抗原CA199和CA125、胃癌抗原CA724)检查有异常改变者。括号内为组内占比。^a统计量为 χ^2 值,年龄、心率和D-2聚体的统计量均为Z值,体质指数的统计量为t值。计量资料采用中位数±四分位数间距表示。

表2 两组的图像质量评分及辐射剂量的对比

指标	APTE	CPTE	统计量	P值
图像质量评分	4.1±0.6	4.2±0.5	-0.154	0.877
CNR	354.13±30.98	352.05±30.66	0.198	0.844
SNR	49.15±6.57	48.02±7.22	0.486	0.630
DLP ^a	139.86±11.01	138.67±11.67	0.797	0.155
CTDIvol(mGy)	3.50±0.23	3.49±0.22	0.052	0.959
ED(mSv)	1.93±0.18	1.91±0.19	0.299	0.767

注:* DLP的单位为mGy·cm。图像质量评分的统计量为Z值,其它参数的统计量为t值。计量资料采用中位数±四分位数间距表示。

两组中肺栓子相关指标的测量值及统计分析结果见表3。两组中栓子直径和双侧PE出现率的差异均无统计学意义($P>0.05$)。APTE组中7例的RVd/LVd

LVd>1,最高值为1.43;CPTE组中2例的RVd/LVd>1;两组间RVd/LVd值的差异有统计学意义($P<0.05$)。CPTE组中肺栓子的CT_{增强}、 Δ CT、IC、R_{CT}、R _{Δ CT}和R_{CT}值均明显高于APTE组(图3~4),组间差异均有统计学意义($P<0.05$)。

表3 两组间栓子相关指标的对比

指标	APTE	CPTE	t/Z值	P值
直径(mm)	11.74±3.20	12.80±5.19	-0.751	0.458
双侧PE(例)	13(13/21)	10(10/15)	0.086 ^a	0.769
RVd/LVd	0.99±0.14	0.90±0.09	-2.136	0.033
CT _{增强} (HU)	33.98±10.31	53.90±7.64	-2.503	0.012
Δ CT(HU)	21.00±9.10	33.63±7.34	-5.055	<0.001
IC(mg/mL)	1.14±0.48	1.84±0.49	-4.958	<0.001
R _{CT}	0.135±0.067	0.190±0.034	-4.381	<0.001
R _{ΔCT}	0.029±0.007	0.096±0.032	-5.023	<0.001
R _{IC}	0.106±0.038	0.157±0.047	-4.413	<0.001

注:括号内为组内占比。^a统计量为 χ^2 值,直径对应统计量为t值,其它参数各统计量为Z值。计量资料采用中位数±四分位数间距表示。

讨论

CT肺血管成像联合DECT肺灌注成像技术能够明确诊断栓塞的位置及肺部低灌注缺血区,但大多数研究较少关注DECT技术对APTE和CPTE的鉴别诊断。本组研究中采用DECT肺血管成像技术对APTE和CPTE患者进行观察,结果显示:CPTE组中肺栓子的CT_{增强}、 Δ CT、IC、R_{CT}、R _{Δ CT}和R_{CT}值均明显高于APTE组(图3~4),组间差异均有统计学意义($P<0.05$)。因此能够帮助临床区分APTE和CPTE,进而提高临床诊断准确性和治疗方案的有效性。APTE组的D-2聚体浓度为(12.07±11.74)mg/L,显著高于CPTE组的测量值(1.64±1.20)mg/L,组间差异有统计学意义($P<0.05$)。但D-二聚体筛查试验(正常值上限0.5mg/L)是一个高度敏感但非特异性的方法,其它情况下(高龄、妊娠、创伤、术后、炎症和癌症)也可能存在D-二聚体水平升高^[9],因此此指标并不能可靠的鉴别APTE和CPTE。

当肺动脉压力增高使得右心室后负荷增加,逐渐导致右心室扩大,同时在神经体液因素的作用下,造成右心室功能障碍,继而使室间隔左移、压迫左心室,最终可能导致左室收缩功能不全、甚至发生心源性休克^[10-11]。本研究结果显示,APTE和CPTE组中分别有7例(33.33%)和2例(13.33%)患者的RVd/LVd>1,两组中RVd/LVd值分别为0.99±0.14和0.90±0.09,组间差异有统计学意义($P<0.05$)。有研究者认为RVd/LVd值有助于评估PE患者的预后和风险程度,帮

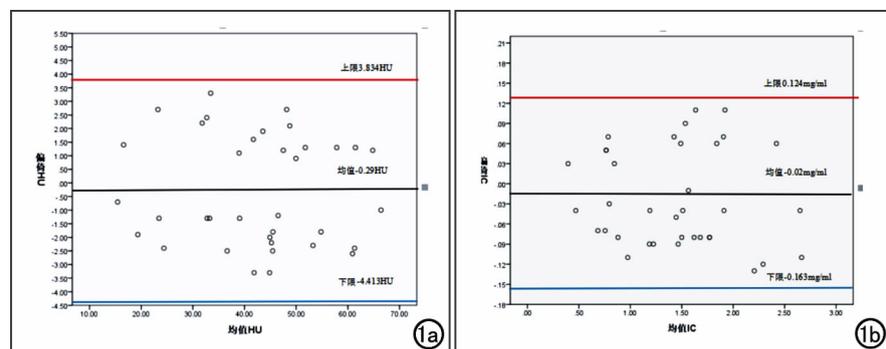


图1 两位放射科医师测量数据的Bland-Altman一致性分析散点图。

a) CT_{增强}值; b) IC值。

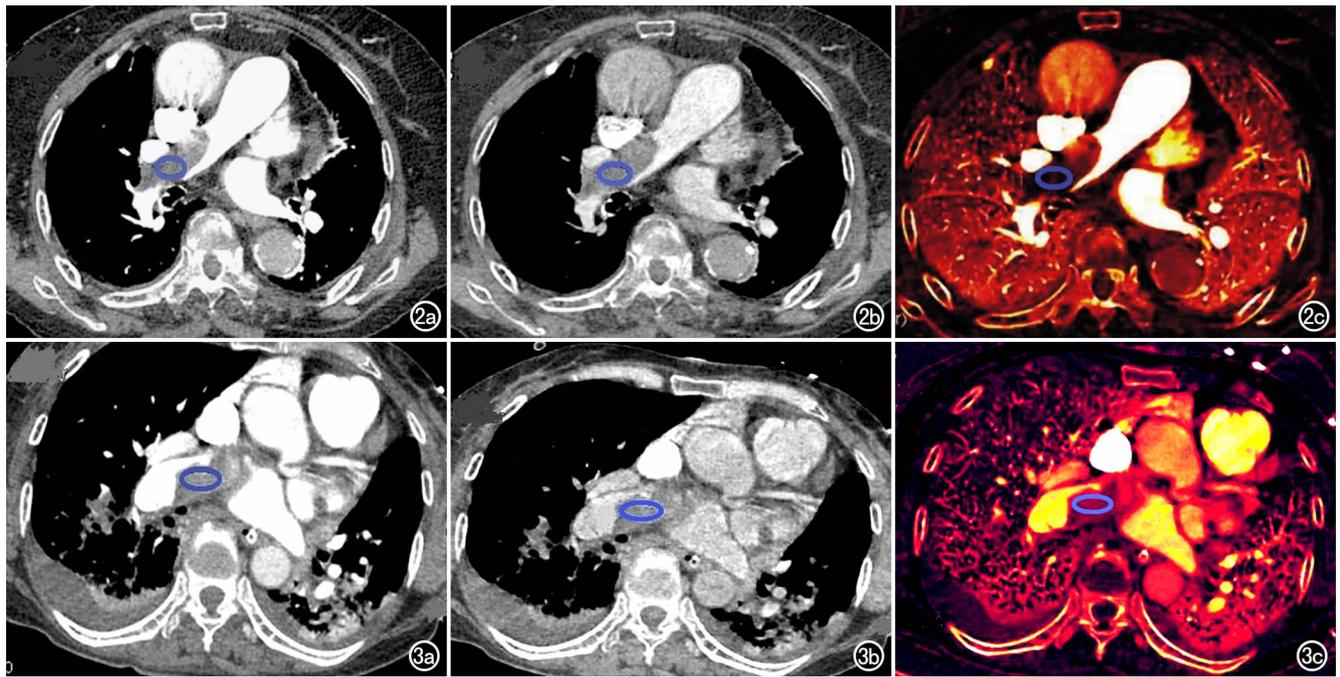


图2 女,56岁,突发胸闷气短,临床确诊为APTE患者。a) 70KeV单能量图像,右肺动脉干内栓子的CT值为20.5HU; b) MSI图像,右肺动脉干内栓子的CT值为14.2HU, Δ CT值为6.3HU; c) 碘(水)图像,右肺动脉干内栓子的IC值为0.23mg/mL。图3 男,68岁,咳嗽、咳痰、气短5月余,临床确诊为CPTE患者。a) 70KeV单能量图像,右肺动脉内栓子的CT值为58.7HU; b) MSI图像,右肺动脉内栓子的CT值为18.9HU, Δ CT值为39.8HU; c) 碘(水)图像,右肺动脉干内栓子的IC值为1.71mg/mL。

助临床选择合适的治疗方案,此比值大于1提示预后不佳,而当此比值 >1.2 时患者30天内的死亡风险增加6倍^[12-13]。慢性血栓栓塞性肺动脉高压(chronic thromboembolic pulmonary hypertension, CTEPH)是由于PE患者经治疗后肺动脉栓子未完全溶解,导致进行性肺动脉血栓形成、肺动脉重塑,最终使得肺血管阻力增高,肺动脉压力渐进性增高。本研究中2例APTE经治疗后栓子未完全溶解,逐渐发展为慢性状态,继发发生血流动力学改变,最终导致慢性肺动脉高压,发展为CTEPH。随着手术技术和诊断方法的进步,肺血栓内膜切除术(PEA)作为CTEPH的首选治疗方法,术后多数患者的血流动力学、心功能及活动耐量有显著改善^[14]。而经皮球囊肺血管成形术(balloon pulmonary angioplasty, BPA)主要应用于慢性肺栓塞合并肺动脉高压且无法行肺动脉内膜切除术的患者,但需要准确诊断PE的分期及选择合理的时间段进行手术才能达到最佳治疗效果^[15]。APTE患者经适当的抗凝药物治疗后栓子可以完全消除,而CPTE则需要手术干预^[3]。因此,如果能够在最初的DECT扫描中区分APTE和CPTE,可以帮助临床医师指导治疗策略,最终改善PE患者的预后和降低死亡率。

国外有研究者认为DECT肺动脉血管成像上栓子的类型、有无钙化、栓子与动脉壁的夹角、血管闭塞

或狭窄情况及栓塞再通等征象可鉴别APTE和CPTE^[16]。APTE栓子呈中心性或偏心性充盈缺损,可见“马球征”或“轨道征”,而CTPE栓子呈新月形充盈缺损;APTE栓子与毗邻血管壁形成锐角,CTPE栓子与毗邻血管壁成钝角;APTE栓子少有钙化,CTPE栓子常伴有钙化灶,且内膜增厚、有网状条带状纤维组织形成;APTE血管管径正常或者增宽,CTPE栓塞近端血管管径正常,远端管径缩小;肺灌注成像显示CTPE患者的受累肺组织呈马赛克样表现。但是,需要指出,尽管APTE和CPTE的上述征象间有一定差异,但差异无统计学意义。Wittram等^[17]提出CTE由于其组织中血红蛋白浓度增高和钙盐沉积,密度增加。CTPE患者栓子的碘浓度较APTE患者高,系因CTPE患者栓塞处肺动脉壁内膜增厚,纤维组织增多,血供更丰富。本研究测量结果显示,在最佳单能量70keV图像上CTPE组中栓子的 $CT_{增强}$ 、 Δ CT、IC、 R_{CT} 、 $R_{\Delta CT}$ 和 R_{CT} 值均高于APTE组,与Wittram等^[17]的研究结果一致。但当肺栓塞患者伴有钙化时,通过对比栓子的CT值并不能可靠鉴别APTE和CPTE,此时,测量栓子的IC值来进行鉴别诊断则更加准确。虽然所有研究对象均使用相同条件进行DECT扫描,但增强的总体程度受特定血流动力学的影响,因此计算栓子与肺动脉的 $CT_{增强}$ 、 Δ CT、IC值的比值(R_{CT} 、

$R_{\Delta CT}$ 和 R_{CT}) 可减少血液动力学对参数测量值的影响。

本研究有以下不足之处:虽然总体样本量为 180 例,但符合本实验要求的病例数较少,在肺动脉干栓塞处测量相关数据时,ROI 椭圆形面积不可能完全相等,并且部分研究对象的肺动脉干栓塞处最大截面直径较小,数值测量可能有一定的误差;再者未对栓子的类型、栓子与动脉壁形成角度大小、栓塞是否伴有钙化、血管闭塞或狭窄程度等进行定量分析,在今后的研究中将进一步深入分析。

总之,通过 DECT 技术定量分析栓子的 CT、 ΔCT 和 IC 值,结合栓子的类型、与动脉壁的夹角、是否伴有钙化及局部血管闭塞或狭窄、栓塞再通等特点,能够较准确地鉴别 APTE 和 CPTE,指导临床选取合理的治疗方案,改善患者的预后。

参考文献:

- [1] Pines JM, Everett WW. Pulmonary embolism and deep vein thrombosis: evidence-based emergency care: diagnostic testing and clinical decision rules [R]. Lancet: Blackwell Publishing Ltd, 2012; 1385-1846.
- [2] Krutman M, Wolosker N, Kuzniec S, et al. Risk of asymptomatic pulmonary embolism in patients with deep venous thrombosis [J]. J Vasc Surg Venous Lymphat Disord, 2013, 1(4): 370-375.
- [3] Shapiro NL, Bhatt SH. Critical review and update on the treatment of acute and chronic pulmonary embolism [J]. J Pharm Pract, 2016, 29(1): 35-45.
- [4] 沈起钧, 彭志毅, 单嫣娜, 等. 双源 CT 双能量肺动脉成像结合灌注血池容积技术评价急性肺栓塞的初步研究 [J]. 临床放射学杂志, 2014, 33(1): 34-38.
- [5] 朱建国, 郭亮. 双源 CT 软件对肺栓塞诊断的应用 [J]. 放射学实践, 2014, 28(10): 1167-1172.
- [6] Konstantinides S, Torbicki A, Agnelli G, et al. Corrigendum to 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism [J]. Eur Heart J, 2015, 36(39): 2642-2666.
- [7] Gottsdale A, Stein PD, Goodman LR, et al. Overview of prospective investigation of pulmonary embolism diagnosis II [J]. Semin Nucl Med, 2002, 32(3): 173-182.
- [8] Matsuoka S, Hunsaker AR, Gill RR, et al. Vascular enhancement and image quality of MDCT pulmonary angiography in 400 cases: comparison of standard and low kilovoltage settings [J]. AJR, 2009, 192(6): 1651-1656.
- [9] Kelly J, Rudd A, Lewis RR, et al. Plasma D-Dimers in the diagnosis of venous thromboembolism [J]. Arch Intern Med, 2002, 162(7): 747-756.
- [10] 杨涛, 何建国. 影像学技术评价肺动脉高压右心功能的研究进展 [J]. 中国医学前沿杂志(电子版), 2012, 4(12): 29-33.
- [11] Argiriou M, Mikroulis D, Sakellaridis T, et al. Acute pressure overload of the right ventricle—comparison of two models of right-left shunt, Pulmonary artery to left atrium and right atrium to left atrium: experimental study [J]. J Cardiothorac Surg, 2011, 6(1): 1-10.
- [12] Dogan H, Roos AD, Geleijns J, et al. The role of computed tomography in the diagnosis of acute and chronic pulmonary embolism [J]. Diagn Interv Radiol, 2015, 21(4): 307-316.
- [13] 赵艳娥, 周长圣, 唐春香, 等. 基于双能量 CT 肺灌注成像的相对强化值评估肺动脉栓塞短期预后的价值 [J]. 放射学实践, 2016, 31(9): 804-807.
- [14] Vonk Noordegraaf A, Bogaard HJ. Hypertension: surgery remains treatment of choice for CTEPH [J]. Nat Rev Cardiol, 2016, 13(4): 188-189.
- [15] Machuca T, de Perrot M. When to refer a patient with chronic thromboembolic pulmonary hypertension for pulmonary endarterectomy [J]. Can J Cardiol, 2015, 31(4): 509-514.
- [16] Ruggiero A, Screatton NJ. Imaging of acute and chronic thromboembolic disease: state of the art [J]. Clin Radiol, 2017, 72(5): 375-388.
- [17] Wittram C, Maher MM, Halpern EF, et al. Attenuation of acute and chronic pulmonary emboli [J]. Radiology, 2005, 235(3): 1050-1054.

(收稿日期: 2018-05-04 修回日期: 2018-06-23)