

平静呼吸轻屏气在改善肺动脉 CT 强化效果中的应用研究

黄书然, 姜鑫, 王洪杰, 陈月芹, 亓志莹, 孙占国

【摘要】 目的:探讨“深吸气后屏气”肺动脉 CTA(CTPA)扫描发生短暂性对比剂中断(TIC)后,“平静呼吸轻屏气”在改善肺动脉强化效果中的应用价值。**方法:**回顾分析 2774 例“深吸气后屏气”状态下完成 CTPA 检查的患者,筛选因发生 TIC 导致肺动脉强化不佳并立即行“平静呼吸轻屏气”CTPA 重复扫描者。对两次扫描的肺动脉段级及以上分支强化效果进行主观评分;测量上腔静脉、右心房、右心室、肺动脉干、左心房、左心室、升主动脉和降主动脉腔内 CT 值,比较两次扫描的心脏、大血管对比增强程度。**结果:**本研究最终纳入 22 例因发生 TIC 而重复 CTPA 扫描的患者。对比前后两次扫描,肺动脉强化程度评分明显升高($Z=4.137, P<0.05$),右心房、右心室和肺动脉干的 CT 值明显增加($Z=3.701$ 、 4.074 和 4.107 , 均 $P<0.05$),其中肺动脉干初始扫描中位 CT 值为 147 HU,重复扫描为 286 HU,上腔静脉、左心房、左心室、升主动脉和降主动脉腔内 CT 值差异无统计学意义($Z=0.390$ 、 0.763 、 1.153 、 0.016 、 0.049 , P 均 >0.05)。**结论:**“深吸气后屏气”状态下 CTPA 扫描出现严重 TIC 时,“平静呼吸轻屏气”状态下重复检查可明显改善肺动脉强化效果。

【关键词】肺动脉 CT 血管成像; 短暂性对比剂中断; 呼吸; 肺栓塞

【中图分类号】R814.42; **【文献标志码】**A **【文章编号】**1000-0313(2022)02-0186-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.02.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The application of “breath holding at ease” in improving the CT enhancement effect of pulmonary artery
HUANG Shu-ran, JIANG Xin, WANG Hong-jie, et al. Department of Critical Care Medicine, Affiliated
Hospital of Jining Medical University, Shandong 272029, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the efficacy of “breath holding at ease” in improving the enhancement effect of pulmonary artery after transient interruption of contrast (TIC) during “deep inspiration and breath-hold” CT pulmonary angiography (CTPA) examinations. **Methods:** A total of 2774 patients who underwent CTPA examinations using “deep inspiration and breath-hold” were analyzed retrospectively. Patients, who showed poor pulmonary artery (PA) enhancement due to the TIC and repeated the scanning “breath holding at ease”, were finally enrolled in the study. The enhancement quality of segmental and larger branches of pulmonary artery were subjectively scored. The CT values of superior vena cava (SVC), right atrium (RA), right ventricular (RV), pulmonary artery trunk (PAT), left atrium (LA), left ventricular (LV), ascending aorta (AO), and descending aorta (DO) were measured. The enhancement intensity of large vessel and cardiac between both scans were compared. **Results:** Twenty-two patients were finally enrolled in this study. The score of the attenuation quality was significantly increased in the later scan ($Z=4.137, P<0.05$). The CT values for the RA, RV and PAT were significantly increased ($Z=3.701, 4.074$ and 4.107 , all $P<0.05$). In the initial scan, the median CT value of pulmonary trunk was 147HU, whereas it was 286HU in the repeated scan. The differences for the CT values of SVC, LA, LV, AA and DA were not statistically significant ($Z=0.390, 0.763, 1.153, 0.016$ and 0.049 , all $P>0.05$). **Conclusion:** “Breath holding at ease” can substantially improve the contrast enhancement quality of the pulmonary arteries during “deep inspiration and breath-hold” CTPA examination when disrupting by TIC.

【Key words】 Pulmonary CT angiography; Transient interruption of contrast; Respiration; Pul-

作者单位: 272029 山东, 济宁医学院附属医院重症医学科(黄书然), 医学影像科(姜鑫、王洪杰、陈月芹、亓志莹、孙占国)

作者简介: 黄书然(1982—), 女, 山东济宁人, 硕士研究生, 副主任医师, 主要从事呼吸重症诊断及治疗工作。

通讯作者: 孙占国, E-mail: yingxiangszg@163.com

基金项目: 山东省医药卫生科技发展计划项目(202009011151); 济宁市重点研发计划项目(2020YXNS014)

monary embolism

肺动脉 CT 血管成像(computer tomography pulmonary angiography,CTPA)是目前临床筛查肺栓塞(pulmonary embolism,PE)的首选无创影像学检查,良好的图像质量是准确检出 PE 的基础。然而在日常工作中,尽管采用常规的扫描方法及对比剂注射方案,肺动脉强化不佳的现象却时有发生,严重时甚至无法满足诊断。文献报道,这一现象主要因未强化的下腔静脉血一过性大量回流入右心房,稀释右心腔对比剂,继而引起肺动脉短暂性强化程度减低,被称为短暂性对比剂中断(transient interruption of contrast,TIC)^[1-2]。目前认为,TIC 的发生与 CTPA 扫描前深吸气及吸气后屏气有关,对应的解决方案尚不统一,亦无定论^[1-3]。2019 年前,笔者所在科室的 CTPA 检查呼吸指令均采用“深吸气后屏气”,一旦发生影响诊断的严重 TIC 现象,则改用“平静呼吸轻屏气”呼吸指令完成二次扫描。本研究回顾分析因 TIC 而行重复 CTPA 扫描的患者资料,比较两种呼吸指令下 CTPA 检查的肺动脉成像效果,探讨“平静呼吸轻屏气”在改善肺动脉强化效果中的应用价值。

材料与方法

1.研究对象

在 PACS 系统回顾性分析 2017 年 1 月—2019 年 4 月在本院完成的 2774 例 CTPA 检查患者,筛选因肺动脉强化不佳而立即行 CTPA 重复扫描者,分析 CT 图像、调阅技师操作记录。纳入标准:①“深吸气后屏气”状态下 CTPA 检查发生 TIC 不能满足诊断者,其 CT 特点为上腔静脉持续对比剂流入,右房室对比剂浓度不均匀减低,肺动脉强化不佳并其内对比剂浓度低于左心房,左心室及主动脉可见不同程度强化(图 1);②当日内完成“平静呼吸轻屏气”状态下 CTPA 重复扫描。排除标准:①因扫描时相错误、对比剂外渗等其他原因致首次 CTPA 检查失败者;②经下肢静脉或深静脉置管注射对比剂者;③合并严重瓣膜疾病或心功能不全患者。

2.扫描设备、参数及呼吸指令

采用 Siemens 双源 CT(Definition Flash,Siemens Healthcare,Forchheim,Germany)行 CTPA 扫描。采用双筒高压注射器(Stellant D,Medrad,Indianola,PA)静脉注射 60 mL 非离子型碘对比剂(碘佛醇注射液 320 mg I/mL),注射速率 4.5 mL/s,相同速率追加生理盐水 30 mL。采用对比剂示踪技术,感兴趣区置于肺动脉干,触发阈值 60 HU,对比剂开始注射 5 s 后启动监测层面扫描,扫描间隔 1 s,达到阈值后延迟 5 s

自动启动 CTPA 扫描,范围自肺尖至肺底。扫描参数:机架旋转时间 0.28 s,采用 Z-轴飞焦点技术,螺距 1.0,准直器宽度 $2 \times 64 \times 0.6$ mm,重组层厚 1 mm;体重指数(body mass index,BMI) <25 kg/m² 者,管电压设为 100 kV,BMI ≥ 25 kg/m² 者设为 120 kV;开启 CARE Dose4D 实时管电流调节模式,参考管电流 150 mAs。

所纳入患者的第 1 次扫描前先行深吸气后屏气训练,采用机器预置自动呼吸指令,达到触发预值后嘱患者“吸口气,憋住”;第 2 次扫描前进行平静呼吸轻屏气训练,嘱患者平静放松状态下自由呼吸,呼吸频率、幅度自然,听到屏气指令后,于自然吸气末轻轻屏住呼吸,避免用力屏气(保持腹部柔软),扫描时采用人工指令,达到触发预值后由实施呼吸训练的操作技师喊话,嘱患者“轻轻憋住气”。

3.图像评估

由 2 位富有经验的胸部 CT 诊断医师独立对肺动脉段级及以上分支强化效果进行主观评分。参考既往研究,采用 5 分法^[4]:1 分,肺动脉几乎无强化;2 分,肺动脉强化较差,不能满足 PE 诊断;3 分,肺动脉及分支均匀/不均匀中等强化,诊断 PE 信心不足;4 分,肺动脉及分支呈均匀/不均匀较好强化,能够满足 PE 诊断;5 分,肺动脉强化均匀且对比极好,能够对 PE 做出明确诊断。肺动脉强化程度最终评分取 2 位医生评分的均值,二者评分差值 ≥ 2 分时,通过商讨缩小评分差距。

由另 1 名具有 15 年工作经验的胸部 CT 诊断医师在 5 mm 层厚横轴面图像上测量上腔静脉下段(奇静脉汇入点下 1 cm 处至右心房段)、右心房(中部层面)、右心室(中部层面)、肺动脉干(气管隆突下方肺动脉干显示较佳层面)、左心房(中部层面)、左心室(中部层面)、升主动脉及降主动脉(同肺动脉干测量层面)的 CT 值,取圆形或椭圆形感兴趣区(region of interest,ROI),在测量目标区域内使用尽量大的 ROI 面积,测量上下连续的 3 层图像,取平均值。前后两次扫描同一部位的 CT 值测量选取同一层面和相同 ROI 面积。

4.统计学分析

采用 SPSS 20.0 统计学软件进行数据分析。计数资料采用频数表示,计量资料采用均数 $\pm$ 标准差表示。两次检查肺动脉强化程度评分及各测量部位 CT 值以中位数(25%四分位数,75%四分位数)表示,比较采用两相关样本的非参数 Wilcoxon 符号秩检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1.患者一般情况

2774 例 CTPA 检查的患者中,接受重复扫描者共 29 例,其中 7 例被本研究排除;2 例扫描启动过晚,CT 表现为上腔静脉、右房室及肺动脉对比剂浓度低,左房室对比剂浓度升高,主动脉强化较好;1 例扫描启动过早,CT 表现为上腔静脉持续对比剂流入,右房室见对比剂充盈,肺动脉干轻微强化,肺动脉分支及左房室、主动脉均无强化;2 例对比剂外渗所致,CT 表现为肺循环、体循环对比剂浓度均较低;1 例经深静脉置管注射对比剂;1 例合并左心功能衰竭。本研究最终纳入 22 例因发生 TIC 而重复 CTPA 扫描的患者,男 13 例,女 9 例,平均年龄 (54.86 ± 13.51) 岁, BMI (24.30 ± 3.41) kg/m^2 ;左室射血分数均 $>50\%$,平均 $(61.50 \pm 2.67)\%$;共 5 例检出 PE,均为段级及以下肺动脉分支。

2.两次扫描肺动脉强化主观评分比较

第 1 次扫描,肺动脉强化程度中位评分为 2(2.0, 2.5)分,其中 20 例最终评分 <3 分,2 例评分为 3 分。第 2 次扫描,肺动脉强化程度中位评分为 4(3.5, 4.6)分,其中最终评分 ≥ 4 分 15 例、3.5 分 4 例、3 分 2 例、2.5 分 1 例。两次扫描的肺动脉强化程度评分差异具有统计学意义($Z=4.137, P<0.001$)。

3.两次扫描心血管强化程度比较

第 2 次扫描所获右心房、右心室及肺动脉干 CT 值高于第 1 次扫描,差异有统计学意义($P<0.05$);而所获上腔静脉、左心房、左心室、升主动脉及降主动脉的 CT 值差异均无统计学意义($P>0.05$),见表 1、图 2。22 例患者肺动脉干 CT 值均有不同程度增加,第 2 次扫描所获 CT 值为 213~409 HU(图 3)。基于心血管腔内中位 CT 值的二维折线图示:除右心房、右心室及肺动脉干外,两次扫描其余部位的心血管强化幅度及整体变化趋势均相仿(图 4)。

表 1 两次扫描心血管腔内绝对 CT 值比较 (HU, n=22)				
部位	第 1 次扫描	第 2 次扫描	Z 值	P 值
上腔静脉	912(811,1076)	903(704,1158)	0.390	0.697
右心房	226(141,298)	380(292,466)	3.701	<0.001
右心室	180(133,221)	318(262,382)	4.074	<0.001
肺动脉干	147(128,188)	286(263,334)	4.107	<0.001
左心房	245(181,316)	240(201,316)	0.763	0.445
左心室	221(126,281)	212(185,281)	1.153	0.249
升主动脉	216(103,264)	200(151,249)	0.016	0.987
降主动脉	172(75,240)	174(118,214)	0.049	0.961

注:表内 CT 值以中位数(25%四分位数,75%四分位数)表示,数值均取整数。

讨 论

TIC 现象在 CTPA 扫描中并不罕见,由于定义不统一,文献报道其发生率为 $5\% \sim 37\%$ ^[1],其中大部分患者 CT 表现为肺动脉强化不佳,仅少数患者会影响 PE 的诊断。若肺动脉强化弥漫减低,可掩盖低密度血栓导致 PE 漏诊;若肺动脉局部强化减低,则可能误认

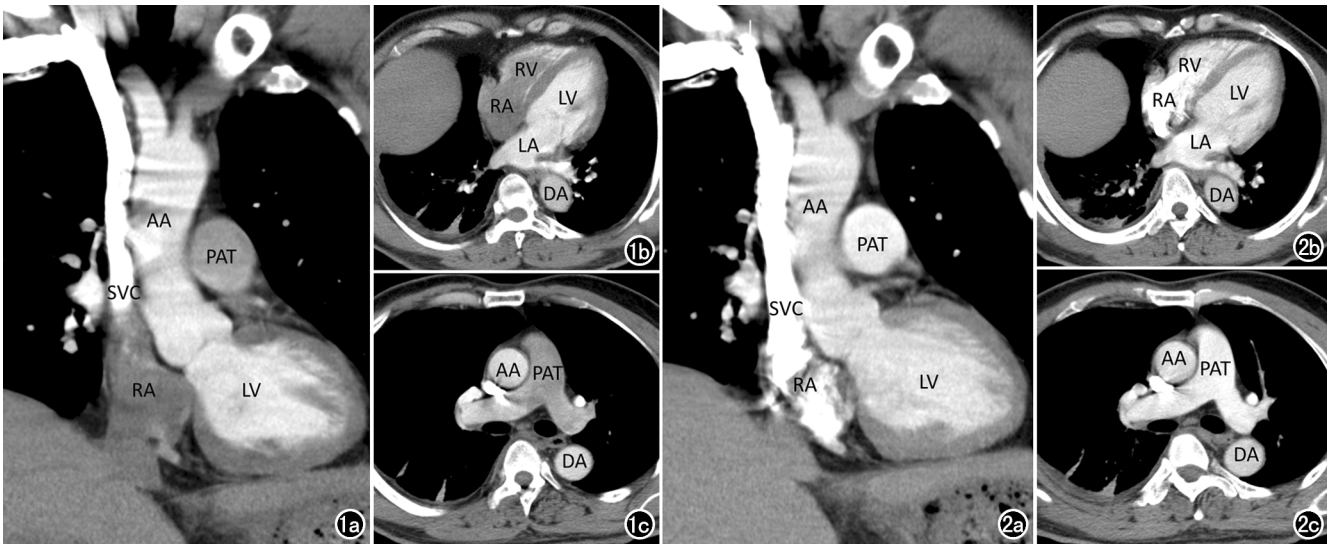
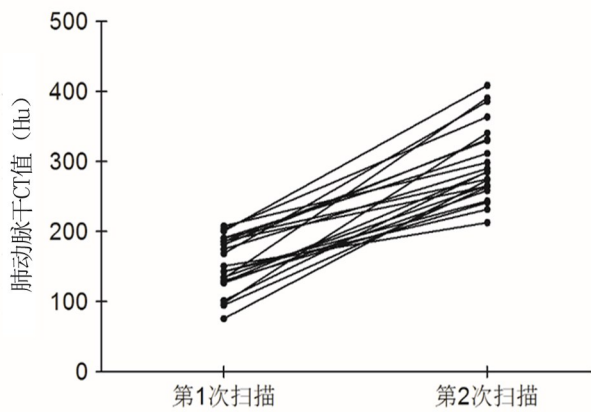
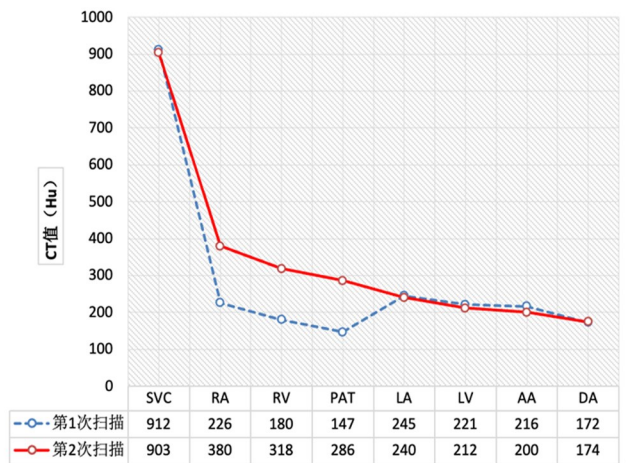


图 1 男,52 岁,“深吸气后屏气”状态下 CTPA 扫描。a)冠状面,上腔静脉(SVC)对比剂回心量少,右心房(RA)内大量无强化下腔静脉血回流;b)横轴面,右心房(RA)、右心室(RV)强化不佳,左心房(LA)及左心室(LV)强化明显优于右房室;c)横轴面,肺动脉干(PAT)CT 值 143HU,强化程度低于升主动脉(AA)及降主动脉(DA)。 图 2 与图 1 为同一患者,“平静呼吸轻屏气”状态下重复 CTPA 扫描。a)冠状面,SVC 对比剂充盈及回流佳,RA 强化程度明显优于首次扫描;b)横轴面,RA、RV 强化程度优于首次扫描,LA、LV 强化程度与首次扫描相仿;c)横轴面,PAT CT 值 232HU,强化程度高于主动脉,AA、DA 强化程度与首次扫描相仿。



③



④

图 3 22 例患者两次扫描所获肺动脉干 CT 值的变化。图 4 基于两次检查心血管腔内中位 CT 值的二维折线图(SVC, 上腔静脉; RA, 右心房; RV, 右心室; PAT, 肺动脉干; LA, 左心房; LV, 左心室; AA, 升主动脉; DA, 降主动脉)。

为充盈缺损, 导致假阳性^[5]。目前多数学者认为, CTPA 扫描时患者的呼吸动作是影响 TIC 发生的主要因素, 尤其与深吸气及屏气动作相关性较大^[5-6]。患者深吸气时, 胸腔负压增大, 促进腔静脉回流, 下移的膈肌使腹压升高, 在胸腹部压力差(胸腹泵)的作用下, 下腔静脉的回流量增加较明显, 大量无强化的下腔静脉血经右心系统快速泵入肺动脉, 导致肺动脉内对比剂浓度一过性减低。吸气末突然屏气会使胸腔压力突然增加, 腔静脉回流明显减少, 心输出量显著减低, 右心腔及肺动脉无法在短时间内被对比剂重新充盈^[7]; 同时, 突然增大的胸腔压力还可导致上腔静脉对比剂回心减少或中断, 进一步促进 TIC 的发生^[8]。研究表明, 正常人平静呼吸时, 上、下腔静脉回流比值约 1:1.9; 而在深吸气时, 腔静脉回心血量增加近 50%, 以下腔静脉回流增加为著, 上、下腔静脉回流比值约达 1:2.6^[11]。Wittram 等^[9]研究发现采用深吸气后屏气状态下 CTPA 扫描, 发生 TIC 的患者右心房 80.1% 的血液来自下腔静脉, 这一比例明显高于未发生 TIC 的患者(52.8%)。本组病例第 1 次扫描也发现, TIC 现象始于右心房, 大量未强化下腔静脉血回流至右心房对比剂浓度不均匀减低, 继发后续的右心室、肺动脉强化不佳, 与上述文献报道相符。

日常工作中, 当出现严重 TIC 影响诊断时, 需重复 CTPA 检查, 患者将接受双倍的辐射剂量和对比剂用量, 如重复检查时仍然采用相同的检查方案, 再次出现 TIC 的几率极高^[5,7]。目前, 减少 TIC 的方法文献报道不一, 普遍认为避免深吸气及吸气末 Valsalva 动作是简单、有效的方法。本研究表明, “吸气后屏气” CTPA 检查发生严重 TIC 时, 改用“平静呼吸轻屏气”

扫描能够明显改善右心腔及肺动脉强化效果, 肺动脉段级及以上分支强化程度改善(主观评分升高), 肺动脉干 CT 值增加约 94.56% (中位 CT 值由 147 HU 增至 286 HU)。一般认为, CTPA 诊断急性 PE 要求肺动脉 CT 值 > 93 HU, 诊断慢性 PE 肺动脉 CT 值需 > 211 HU^[10]。因此, 本组重复 CTPA 扫描所获取的肺动脉强化程度足以满足诊断要求。

“平静呼吸轻屏气”避免了深吸气及用力屏气所致的胸腔压力剧烈变化, 上、下腔静脉血液回流占比相对稳定, 能够有效提高 CTPA 肺动脉强化效果。研究表明, 常规 CTPA 检查采用平静呼吸轻屏气扫描所获肺动脉 CT 值较深吸气后屏气扫描增加 17.95%, 且前者 TIC 发生率(2.67%)明显低于后者(15.69%)^[6]。该呼吸指令简便、易行, 效果明确, 但本组仍有少数患者肺动脉强化改善程度较小, 可能与患者紧张或对该呼吸指令理解不充分而出现依从性不佳有关, 因此需要在检查前反复训练呼吸^[5]。

此外, 也有学者建议使用其它呼吸指令或检查技术来减少 TIC 的发生。①平静呼吸不屏气: 平静呼吸不屏气扫描可有效解决患者对呼吸指令依从性差的问题, 且肺动脉强化效果及发生 TIC 的几率与平静呼吸轻屏气相仿, 但图像运动伪影略有增加^[2,11]。②呼气后屏气: 呼气相胸腔压力多为正压, 且屏气时不易伴发 Valsalva 动作, 胸腹压差减小, 能够一定程度上避免下腔静脉的大量回流^[1]。但由于肺含气量减少, 肺组织图像质量下降, 且同样存在患者依从性不佳的情况^[1,2]。③抗阻力吸气状态下屏气: 在自由呼吸的基础上, 通过末端连接测压仪的管道进行恒压抽吸状态下屏气, 这种轻度负压的屏气方法能够使下腔静脉膈

肌裂孔持续收紧,下腔静脉回流量不增甚至略有减少,且胸腔增大的负压能促进上腔静脉对比剂回心,从而改善肺动脉强化程度^[12,13]。然而,此法操作复杂,较难普及应用。④能谱 CT 扫描:使用双源 CT 60 keV 虚拟单能成像^[14]或 40 keV 改进的虚拟单能成像^[15]能明显改善 TIC 患者的肺动脉强化程度,且肺灌注血容量图(碘图)能将肺动脉内碘分布可视化,有助于鉴别 TIC 伪影及 PE 栓子^[10]。近年推出的双层光谱探测器 CT 实现了能谱成像的常规应用,一旦发生 TIC,可通过单能量成像技术改善肺动脉强化效果,避免额外的重复检查^[16]。

本研究不足之处:首先,作为单中心回顾性研究,样本量较小,结果难免存在偏倚;其次,本研究仅测量了肺动脉干 CT 值,对双侧肺动脉及其肺内分支的成像仅做了主观评价,存在一定的局限性;再者,两观察者对肺动脉强化效果的主观评分存在一定分歧,但二者一致认为所观察到的改善效果是明确的。

本研究提供了一种临床可行且效果明显的改进肺动脉强化效果的方法,既可用于严重 TIC 的补救扫描,也可尝试作为 CTPA 的常规呼吸指令使用。相信随着国内学者对 TIC 重视程度的提高,会有越来越多的研究提出更适合国人的个性化 CTPA 扫描方案。

参考文献:

- [1] Mortimer AM, Singh RK, Hughes J, et al. Use of expiratory CT pulmonary angiography to reduce inspiration and breath-hold associated artefact: contrast dynamics and implications for scan protocol[J]. Clin Radiol, 2011, 66(12): 1159-1166.
- [2] Raczeck P, Minko P, Graeber S, et al. Influence of respiratory position on contrast attenuation in pulmonary CT angiography: a prospective randomized clinical trial[J]. AJR, 2016, 206(3): 481-486.
- [3] Manava P, Galster M, Schoen M, et al. Improving contrast enhancement in pulmonary CTA: the value of breathing maneuvers[J]. Eur J Radiol Open, 2020, 7: 100280.
- [4] Schueller-Weidekamm C, Schaefer-Prokop CM, Weber M, et al. CT angiography of pulmonary arteries to detect pulmonary embolism: improvement of vascular enhancement with low kilovoltage settings[J]. Radiology, 2006, 241(3): 899-907.
- [5] Renne J, Falck C, Ringe KI, et al. CT angiography for pulmonary embolism detection: the effect of breathing on pulmonary artery enhancement using a 64-row detector system[J]. Acta Radiol, 2014, 55(8): 932-937.
- [6] Li YJ, Lau KK, Ardley N, et al. Efficacy of 'breath holding at ease' during CT pulmonary angiography in the improvement of contrast enhancement in pulmonary arteries[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2013, 57(4): 415-422.
- [7] Sudarski S, Haubenreisser H, Henzler T, et al. Incidence of transient interruption of contrast (TIC)-A retrospective single-centre analysis in CT pulmonary angiography exams acquired during inspiratory breath-hold with the breathing command: "Please inspire gently!"[J]. PLoS One, 2019, 14(1): e0210473.
- [8] Coulier B, Van den Broeck S. A case of massive transient reduction of attenuation of iodine contrast bolus during computed tomography pulmonary angiography: why and how to avoid it[J]. JBR-BTR, 2013, 96(5): 304-307.
- [9] Wittram C, Yoo AJ. Transient interruption of contrast on CT pulmonary angiography: proof of mechanism[J]. J Thorac Imaging, 2007, 22(2): 125-129.
- [10] Moore AJE, Wachsmann J, Chamarthy MR, et al. Imaging of acute pulmonary embolism: an update[J]. Cardiovasc Diagn Ther, 2018, 8(3): 225-243.
- [11] Kosmala A, Gruschwitz P, Veldhoen S, et al. Dual-energy CT angiography in suspected pulmonary embolism: influence of injection protocols on image quality and perfused blood volume[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2020, 36(10): 2051-2059.
- [12] Gutzeit A, Roos JE, Hergan K, et al. Suction against resistance: a new breathing technique to significantly improve the blood flow ratio of the superior and inferior vena cava[J]. Eur Radiol, 2014, 24(12): 3034-3041.
- [13] Gutzeit A, Froehlich JM, Wälti S, et al. Suction/Inspiration against resistance or standardized Mueller maneuver: a new breathing technique to improve contrast density within the pulmonary artery: a pilot CT study[J]. Eur Radiol, 2015, 25(11): 3133-3142.
- [14] Delesalle MA, Pontana F, Duhamel A, et al. Spectral optimization of chest CT angiography with reduced iodine load: experience in 80 patients evaluated with dual-source, dual-energy CT[J]. Radiology, 2013, 267(1): 256-266.
- [15] Martini K, Meier A, Higashigaito K, et al. Prospective randomized comparison of high-pitch CT at 80kVp under free breathing with standard-pitch CT at 100kVp under breath-hold for detection of pulmonary embolism[J]. Acad Radiol, 2016, 23(11): 1335-1341.
- [16] Bae K, Jeon KN, Cho SB, et al. Improved opacification of a suboptimally enhanced pulmonary artery in chest CT: experience using a dual-layer detector spectral CT[J]. AJR, 2018, 210(4): 734-741.

(收稿日期:2021-04-14 修回日期:2021-08-07)