

• 肺栓塞影像学专题 •

3.0T MR 动态对比增强肺动脉成像评估肾病综合征患者肺栓塞

赵艳娥, 唐春香, 周长圣, 张军, 王鹏, 李延军, 张龙江, 卢光明

【摘要】 目的:以双能量 CT 肺动脉成像诊断肺栓塞的结果为参考标准,评估 3.0TMR 动态对比增强肺动脉成像对肾病综合征患者肺栓塞的诊断效能。**方法:**31 例可疑肺栓塞的肾病综合征患者纳入本研究。所有患者在 1~3 d 内完成双能量 CT 肺动脉成像和 3.0T MR 动态对比增强成像扫描。以双能量 CT 肺动脉和肺灌注融合图像(DECT)诊断结果为参考标准,分别以肺叶和患者为基本研究单位,计算磁共振肺动脉图像(MRPA)、磁共振肺灌注图像(MRPP)及两者融合图像(MRPA/MRPP)诊断肺栓塞的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、准确度。采用 Kappa 检验分析 MRPA/MRPP 与 DECT 图像的诊断一致性。**结果:**8 例患者因磁共振图像质量较差而被排除。23 例患者和 115 个肺叶的影像数据纳入研究。DECT 图像共发现 14 例患者和 41 个肺叶有肺栓塞。以 DECT 图像的结果为参考标准,以肺叶为研究单位,MRPA、MRPP、MRPA/MRPP 诊断肺栓塞的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、准确度分别为(48.8%、94.6%、83.3%、76.9%、78.3%)、(65.9%、96%、90%、85.5%、85.2%)和(70.7%、94.6%、87.9%、85.4%、86.1%);以患者为研究单位,MRPA、MRPP、MRPA/MRPP 诊断肺栓塞的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、准确度分别为(71.4%、66.7%、78.9%、60%、69.6%)、(78.6%、77.8%、84.6%、70%、78.3%)和(92.9%、66.7%、81.3%、85.7%、82.6%)。不管是肺叶还是患者为研究单位,MRPA/MRPP 与 DECT 图像的诊断结果均有较好的一致性,Kappa 值分别为 0.68、0.62。**结论:**3.0T MR 动态对比增强肺动脉成像能够对肾病综合征患者的肺栓塞进行综合评估,并具有较高的诊断效能。

【关键词】 肺灌注; 肺栓塞; 双源 CT; 体层摄影术, X 线计算机; 磁共振成像

【中图分类号】 R563.5; R445.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)09-0833-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.09.008

Evaluation of dynamic contrast enhanced imaging at 3.0T MRI for detection of acute pulmonary embolism in patients with nephrotic syndrome ZHAO Yan'e, TANG Chun-xiang, ZHOU Chang-sheng, et al. General Hospital, Nanjing Military Command, Nanjing 210002, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to evaluate the detection accuracy of dynamic contrast enhanced MR imaging (DCE-MR) at 3.0T for acute pulmonary embolism (PE) with dual-source and dual-energy CT pulmonary angiography as the reference diagnostic standard. **Methods:** Thirty-one patients with nephrotic syndrome suspected with pulmonary embolism underwent both MR and CT scan within 3 days (range, 0~3 days) for PE evaluation. With dual-energy CT (DECT) fusion imaging as reference standard, MR images were independently analyzed by two radiologists on pulmonary lobe basis or patient basis. Sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV), negative predictive value (NPV), and accuracy (Acc) for PE detection were calculated. Weighted κ values were calculated to evaluate agreement between MRPA/MRPP and DECT. **Results:** 8 patients with poor image quality were excluded. The success rate of DCE MR imaging was 74.2% (23/31). The image data of 23 patients and 115 pulmonary lobes were analyzed and a total of 14 patients and 41 lobes with pulmonary embolism were found. With the result of DECT fusion imaging as the reference standard, the SE, SP, PPV, NPV, Acc for MRPA, MRPP and MRPA/MRP were 48.8%, 94.6%, 83.3%, 76.9%, 78.3%; 65.9%, 96%, 90%, 85.5%, 85.2% and 70.7%, 94.6%, 87.9%, 85.4%, 86.1%, respectively on lobe basis. The SE, SP, PPV, NPV, Acc for MRPA, MRPP and MRPA/MRP were 71.4%, 66.7%, 78.9%, 60%, 69.6%; 78.6%, 77.8%, 84.6%, 70%, 78.3% and 92.9%, 66.7%, 81.3%, 85.7%, 82.6%, respectively on patient basis. There was good agreement for detecting PE on lobe analysis between the DECT and MRPA/MRPP. **Conclusion:** The dynamic contrast enhanced MR pulmonary angiogram with a 3.0T MR system is a suitable alternative modality to DECT for detecting PE in this small cohort study of patients with nephrotic syndrome.

【Key words】 Pulmonary perfusion; Pulmonary embolism; Dual-source CT; Tomography, X-ray computed; Magnetic resonance imaging

作者单位: 210002 南京军区南京总医院/南京大学医学院附属金陵医院医学影像科
作者简介: 赵艳娥(1981-),女,山东德州人,博士研究生,主治医师,主要从事心血管病影像诊断工作。
通讯作者: 卢光明, E-mail: cjr.luguangming@VIP.163.com

血栓栓塞是肾病综合征常见的并发症之一,肾病综合征患者血栓最常发生的位置为肺动脉和肾静脉,肺动脉血栓发生率为 33%,肾静脉血栓发生率为

22%^[1]。尽管肾病综合征患者中大多数肺栓塞被认为来自肾静脉血栓或下肢深静脉血栓,但仍有部分肺栓塞是独立存在的。Zhang 等^[1]对 458 例肾病综合征患者的分析显示,约 13% 的患者存在独立的肺动脉栓塞。这些血栓栓塞事件是肾穿刺活检的禁忌症,使患者得不到明确的肾病组织类型,及时进行针对性治疗^[2];血栓栓塞事件还导致患者肾病病情加重、因肺栓塞引起致命风险以及发生慢性肺动脉高压并发症的危险。因此,对临床怀疑血栓栓塞的肾病综合征患者来说,有必要进行肺动脉栓塞的评估。由于 CT 有电离辐射,不是肾病综合征患者肺动脉栓塞随访复查的最佳手段。MRI 作为无辐射的检查方法之一,目前其评估肺栓塞的研究主要是利用 1.5T MR 扫描仪,但 1.5T MR 扫描仪空间分辨力和时间分辨力较低,使得肺栓塞 MRI 临床应用受到限制^[3-4]。3.0T MRI 场强的提高,多通道线圈和高级序列的研发,大大提高了对比增强磁共振肺部成像的时间和空间分辨力。PI-OPED III 的亚组分析研究结果发现,与 1.5T MR 设备相比,3.0T 肺动脉成像具有较高的空间分辨力和信噪比($\geq 13\%$, $P=0.03$)^[5]。本研究以双能量 CT 肺动脉成像为参考标准,旨在评估 3.0T MR 动态对比增强成像技术对肾病综合征患者肺动脉栓塞的诊断效能。

材料与方法

1. 研究对象

该研究获得伦理委员会同意。患者纳入标准:①临床怀疑肺栓塞的肾病综合征患者;②同意行双能量 CT 肺动脉成像和 MR 动态对比增强成像,并且两种检查的间隔时间 ≤ 3 d;③签署知情同意书。患者排除标准:①碘对比剂过敏史;②孕妇;③儿童;④患有幽闭恐惧症者;⑤心脏起搏器置入患者;⑥呼吸困难不能配合检查者;⑦严重肾功能不全患者(4 期或 5 期患者)。满足以上任何一个条件者均被排除。2014 年 1 月—2015 年 3 月总共 31 例患者纳入本研究,男 26 例,女 5 例,平均年龄(37.8 ± 15.9)岁。

2. 双能量 CT 肺动脉成像

检查设备采用德国 Siemens Somatom Definition CT 机,采用对比增强双能量模式。扫描参数:探测器准直 64×0.6 mm(或 128×0.6 mm),机架旋转时间 0.33 s(或 0.28 s),螺距为 0.5(或 1.0),2 个 X 线球管的管电压分别为 80/140 kV(或 100/140 kV),有效管电流分别为 50/213 mAs(或 38/89 mAs),双能量成分选择为 0.3(或 0.6)。经肘前静脉注射 50~70 mL 对比剂(德国拜耳先灵药业,浓度 300 mg I/mL),注射流率 3~4 mL/s,随后以相同流率注入 20~30 mL 生

理盐水,以减少上腔静脉内残留的对比剂。延迟时间应用人工智能触发扫描系统确定,兴趣区设于肺动脉主干,当其密度达到 100 HU 时,再延迟 4 s 自动开始扫描。扫描方向为头足方向,扫描范围自胸廓入口至膈肌水平。为了降低辐射剂量,双能量扫描时开启 Care Dose 4D 模式。

3. MR 动态对比增强成像

MR 动态对比增强成像检查设备型号为 GE Discovery MR750,3.0T MR 扫描仪,采用三维快速扰相梯度回波序列,线圈通道为 32,最大梯度场强为 40 mT/m,转换速率为 200 T/m/s。扫描参数:TR 2 ms,TE 0.8 ms,翻转角 $18^\circ \sim 20^\circ$,矩阵 160×224 mm,扫描视野为 $40 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$,带宽为 142.9 kHz,激励次数为 0.75,扫描层厚约 5.4 mm,层间隔为 3.2 mm,冠状面扫描,扫描视野包括全肺。在注射对比剂之前先进行蒙片扫描,随后以 3~4 mL/s 流率(剂量 0.2 mmol/kg)注射钆对比剂(马根维显)和生理盐水,连续扫描 7 期,每期扫描时间约 3 s,总时间约 21 s。扫描过程患者需屏气。

4. 图像分析

CT 原始数据利用 Siemens 双能量肺灌注成像软件进行分析,得到 CT 肺动脉图像和 CT 肺灌注图像融合图像(dual energy CT,DECT)。由 1 位有 7 年 CT 工作经验的放射科医师在不知道 MRI 结果的情况下分析 CT 图像,判断有无肺栓塞。肺栓塞的判断标准为肺动脉管腔充盈缺损和/或肺灌注稀疏,符合此标准则认定为阳性^[3-5]。为了方便统计,肺动脉栓塞以患者和肺叶为研究单位。CT 肺动脉联合肺灌注图像观察结果作为参考标准,可结合 CT 后处理技术观察、分析,如多平面重组、最大密度投影、血管曲面重组等对图像进行评估。

MRI 检查结束后,将扫描得到的数据导入磁共振高级后处理软件进行分析,可获得不同图像类型:第 2 或第 3 期的图像为磁共振肺动脉图像(magnetic resonance pulmonary artery,MRPA),第 3 或第 4 期的图像为磁共振肺灌注图像(magnetic resonance pulmonary perfusion images,MRPP)。为了方便观察,MRPP 采用伪彩图显示。由 2 位有 3 年以上 MRI 工作经验的放射科医师在不知道 CT 结果的情况下共同观察、分析 MRI 图像并确定有无栓塞,结果有争议时经讨论达成一致。MRPA 和 MRPP 判断肺栓塞的标准和图像质量评估参考 Revel 等^[6]的研究结果。两者联合图像(MRPA/MRPP)判断肺栓塞的标准为 MRPA 和/或 MRPP 为阳性。

5. 统计学分析

采用 SPSS16.0 和 MedCalc(v12.7.0.0)医学统

计软件进行统计学分析。定量资料采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,分类变量采用频数或百分数表示。以 DECT 结果为参考标准,分别以肺叶和患者为研究单位,计算 MRPA、MRPP 及两者联合图像诊断肺栓塞的灵敏度(sensitivity,SE)、特异度(specificity,SP)、阳性预测值(positive predictive value,PPV)、阴性预测值(negative predictive value,NPV)、准确度(accuracy,Acc),并且计算每个指标的 95%可信区间。采用 Kappa 分析检验不同成像方法诊断结果的一致性,Kappa 值<0.4 表示一致性差,0.41≤Kappa 值<0.60 表示一致性为中等,0.61≤Kappa 值<0.80 表示一致性较好,0.81≤Kappa 值≤1.00 表示一致性很好。以 $P<0.05$ 为差异统计学有意义。

结 果

1. 临床资料
- 8 例患者的 MRPA 或 MRPP 不符合临床诊断标准被排除,其中 1 例患者因扫描过程中不能屏气导致 MRPP 呼吸伪影较重,1 例患者肺实质强化弱,3 例患者因 MRPP 对比剂强化程度低或不均匀造成主干及远侧分支显示不清晰,3 例患者 MRPP 和 MRPA 均不能满足临床诊断要求。MR 动态对比增强成像技术的成功率为 74.2%(23/31)。最终纳入数据评估的患者为 23 例,男 19 例,女 4 例,平均年龄为(37.8±14.6)岁。纳入数据评估的肺叶总数为 115 个。MRI 和 CT 扫描平均间隔时间为(1.63±0.66)d,间隔时间均小于 3 d。
2. 影像分析结果
- 23 例患者中,DECT 检出 14 例患者和 41 个肺叶有肺栓塞(图 1~3),9 例患者无肺动脉栓塞。DECT

图像诊断肺栓塞的肺叶分布情况见表 1。MRPA、MRPP 和 MRPA/MRPP 诊断肺栓塞的情况见表 2、3。以患者为研究单位,MRPA/MRPP 与 DECT 图像的诊断结果一致性检验 Kappa 值=0.62(CI:28.9~95.0), $P<0.001$;以肺叶为研究单位,MRPA/MRPP 与 DECT 图像的诊断结果一致性检验 Kappa 值=0.68(CI:49.5~79.2), $P<0.001$ 。

表 1 不同图像类型诊断肺栓塞的肺叶分布情况结果 (个)

方法	右肺			左肺		合计
	上叶	中叶	下叶	上叶	下叶	
DECT	4	4	10	10	13	41
MRPA	2 (1 [#] ,2 [*])	1 (3 [*])	5 (2 [#] ,5 [*])	4 (6 [*])	8 (1 [#] ,5 [*])	20 (4 [#] ,21 [*])
MRPP	3 (1 [*])	0 (4 [*])	7 (2 [#] ,3 [*])	8 (1 [#] ,2 [*])	9 (4 [*])	27 (3 [#] ,14 [*])
MRPA/ MRPP	4 (1 [#])	1 (0 [#] ,3 [*])	7 (2 [#] ,3 [*])	7 (3 [*])	10 (1 [#] ,3 [*])	29 (4 [#] ,12 [*])

注: # 假阳性的肺叶个数, * 假阴性的肺叶个数。

讨 论

肺栓塞的评估不应仅局限于管腔内栓子,因管腔狭窄所致的远端肺组织血流动力学的改变对于临床治疗也至关重要。双能量 CT 的出现,实现了单次成像同时评估肺栓子和肺实质,并且 CT 肺动脉图像与 CT 肺灌注图像在诊断肺栓塞上可以起到互补作用,两者联合可以提高对外周小栓子的诊断准确度。所以双能量 CT 肺动脉成像为肺栓塞的评估、治疗方法的选择、术后随访提供了更多的可靠依据^[7-9],成为肺栓塞的一站式评估方法。

多项研究已经证实 MR 动态对比增强成像评估肺动脉栓塞的可行性^[10-13]。由于 1.5T MR 时间和空间分辨率有限,对肺栓塞的研究仅仅局限于肺实质灌注情况,肺血管图像质量不足以用于肺动脉栓子的评估。随着 3.0T MR 时间和空间分辨率的提高,有望

表 2 磁共振图像对肺栓塞的诊断效能(以肺叶为研究单位)

诊断方式	诊断结果(个)				统计值(CI) %				
	TP	TN	FP	FN	SE	SP	PPV	NPV	Acc
MRPA	20	70	4	21	48.8 (32.9~64.9)	94.6 (86.7~98.5)	83.3 (62.6~95.3)	76.9 (66.9~96.2)	78.3 (62.9~96.2)
MRPP	27	71	3	14	65.9 (49.4~79.9)	96 (88.6~99.2)	90 (73.5~97.9)	85.5 (73.9~90.7)	85.2 (69.1~100)
MRPA/MRPP	29	70	4	12	70.7 (54.5~83.9)	94.6 (86.7~98.5)	87.9 (71.8~96.6)	85.4 (75.8~92.2)	86.1 (67~100)

表 3 磁共振图像对肺动脉栓塞的诊断效能(以患者为研究单位)

诊断方式	诊断结果(例)				统计值(CI) %				
	TP	TN	FP	FN	SE	SP	PPV	NPV	Acc
MRPA	10	6	3	4	71.4 (41.9~91.6)	66.7 (29.9~92.5)	78.9 (46.2~95.0)	60 (28.2~87.8)	69.6 (39.8~100)
MRPP	11	7	2	3	78.6 (49.2~95.3)	77.8 (40~97.2)	84.6 (54.6~98)	70 (34.8~93.3)	78.3 (46.4~100)
MRPA/MRPP	13	6	3	1	92.9 (66.1~99.8)	66.7 (29.9~92.5)	81.3 (38.5~80.3)	85.7 (54.4~96)	82.6 (49.7~100)

注: TP=true-positive,真阳性; TN = true-negative,真阴性; FP = false-positive,假阳性; FN = false-negative,假阴性; CI=confidence interval,可信区间。

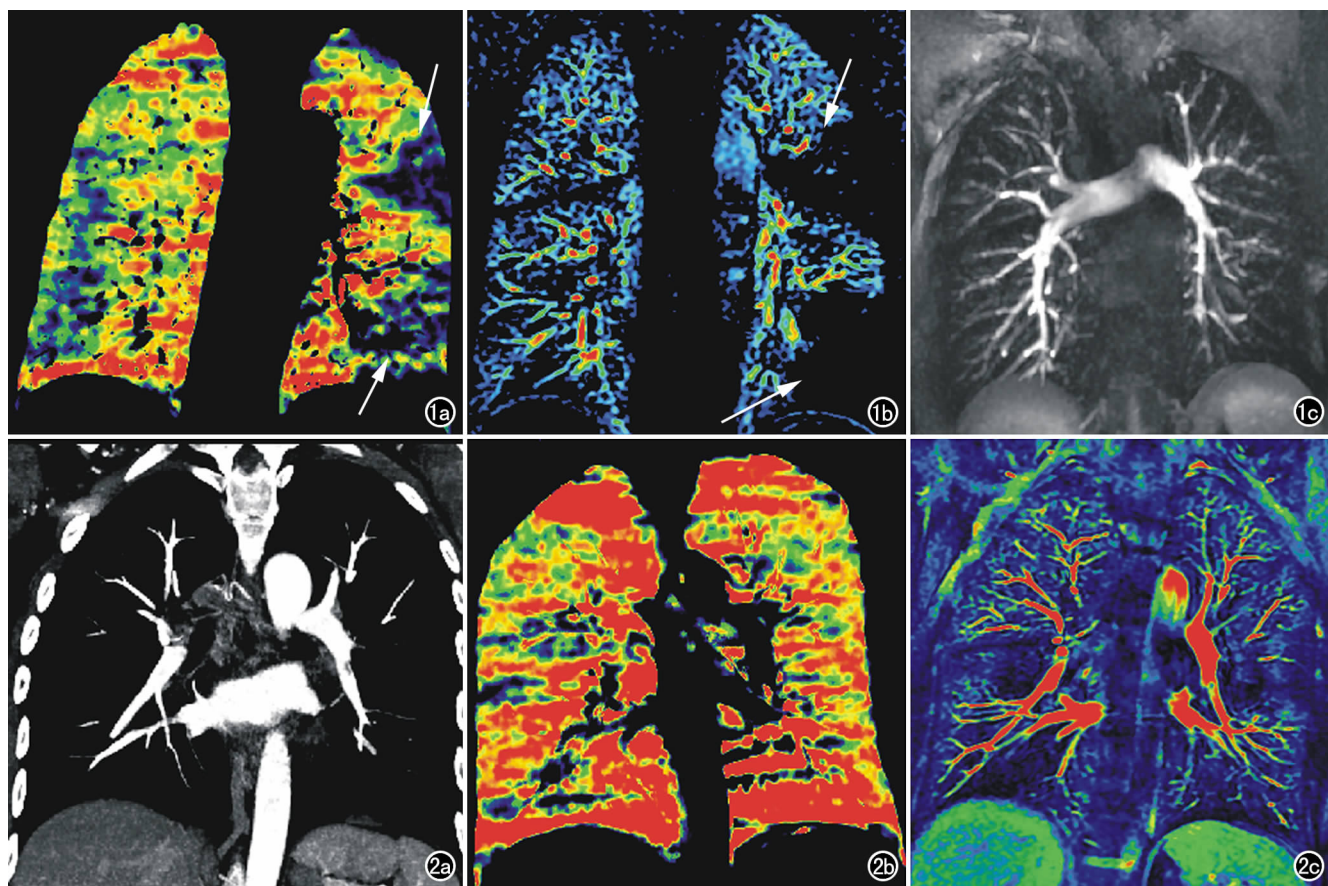


图 1 左肺下叶肺动脉血栓, 左肺灌注异常。a) CT 冠状面肺灌注图像, 左肺上叶和下叶均可见灌注降低区域(箭); b) 磁共振冠状面肺灌注图像, 左肺上叶和下叶均可见灌注降低区域(箭), 与 CT 显示一致; c) MR 肺动脉最大密度投影冠状面图像示左肺下叶肺动脉截断, 导致左肺下叶肺组织灌注降低。图 2 左肺下叶肺动脉血栓, 肺灌注未见异常。a) 肺动脉 CT 冠状面最大密度投影图像示左肺下叶肺动脉血栓, 非完全闭塞型; b) CT 冠状面肺灌注图像示左肺下叶未见灌注异常; c) 磁共振冠状面肺灌注图像示左肺下叶亦未见灌注异常, 与 CT 灌注图像显示一致。

改善磁共振肺动脉图像质量。本研究发现 80% (25/31) 的患者的肺动脉图像和 93.5% (29/31) 的患者的肺灌注图像能够用于肺栓塞的诊断。所以 3.0T MR 动态增强肺动脉成像可以通过 1 次扫描获得 2 个诊断肺栓塞的指标, 即肺血管和肺灌注情况。

本研究中磁共振灌注图像共正确诊断 18 例患者和 98 个肺叶, 诊断敏感度分别为 78.6% (以患者为研究单位) 和 65.9% (以肺叶为研究单位), 与 Revel 等^[6]的研究结果相似。本研究的假阳性肺灌注异常主要分布在肺的边缘, 比如心脏旁, 估计是检查过程中心脏搏动伪影所致; 分布在肺底、近膈肌处的假阳性肺灌注异常原因是在检查过程中患者屏气不全, 导致肺底出现线状的灌注异常。结合双能量 CT 肺灌注图像回顾性分析假阴性结果的原因, 发现主要是由于磁共振肺灌注成像的前后扫描视野不够大, 造成部分肺组织灌注情况未能在磁共振图像中显示。另外, 靠近前胸壁的肺组织受心脏和呼吸影响较大, 图像质量不佳。除此之外, 肾脏病患者并发的血栓较小^[14], 未能造成肺灌注异常。回顾性分析本组患者的肺部 CT 图像, 发现

本组患者肺实质内无肺结节、肺不张等造成灌注异常的疾病, 这是导致本研究磁共振灌注图像特异度较高 (96%) 的重要原因。

本研究还采用磁共振肺动脉图像联合肺灌注图像共同评估肺栓塞。无论是以患者还是肺叶为研究单位, 发现联合两种图像诊断肺栓塞的敏感度和准确度均高于单一图像。以患者为研究单位, 联合两种图像诊断肺栓塞的敏感度远高于相关文献报道的单一磁共振肺灌注图像 (71.8%)^[6], 联合两种图像提高了 MR 动态对比增强成像对肺栓塞的诊断能力, 这主要是因为 MR 肺动脉图像和肺灌注图像可起到互补作用。磁共振肺灌注图像出现典型的肺灌注缺损, 而肺动脉图像未见血栓, 或因栓子体积较小未能导致该肺动脉供血区域灌注异常, 两者综合评估亦可作出肺栓塞的诊断。本研究显示 MRPA/MRPP 与 DECT 在评估肺动脉栓塞方面一致性较好, 与 Yilmaz 等^[15]的研究结果相仿。3.0T MR 动态对比增强成像可以作为单次扫描即可同时评估肺栓子和肺灌注的另一种检查方法。

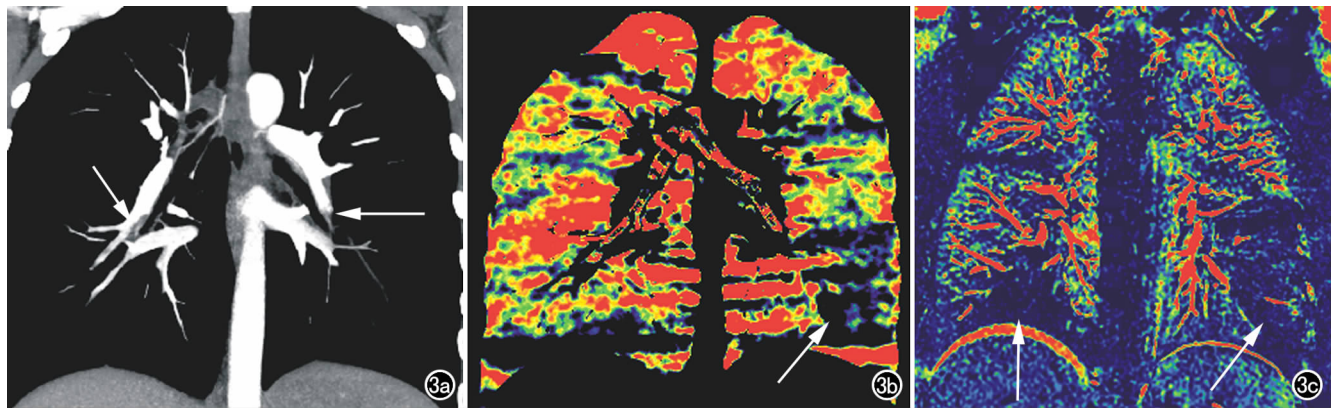


图3 两肺下叶肺动脉血栓,肺灌注异常。a) 肺动脉 CT 冠状面最大密度投影图像示两肺下叶附壁型肺动脉血栓(箭); b) CT 冠状面肺灌注图像示左肺下叶灌注异常(箭),但右肺下叶未见灌注异常; c) 磁共振冠状面肺灌注图像,两肺下叶均见灌注异常(箭),提示两肺下叶肺动脉有血栓。

本研究具有以下不足之处:①本研究纳入的病例数偏少,但本研究以肺叶为研究单位时共 115 个肺叶纳入分析,可以满足统计学要求;②由于两种检查不是同时进行的,而是间隔了 1~3 d,在这期间患者已经进行了抗凝治疗,这样会影响到 MRI 诊断结果;③为了保证肺动脉和肺灌注同时显示,本研究的 MR 肺动脉成像采用的层厚为 5.4 mm,可能造成未引起肺灌注异常的小栓子漏诊;④磁共振肺动脉图像诊断肺栓塞的敏感度较低,需通过调整对比剂注射方式等技术提高肺动脉成像的图像质量。

综上所述,3.0T MR 动态对比增强肺动脉成像可同时评估肺栓塞的栓子和肺实质灌注情况,对肺栓塞还具有较高的诊断效能,有望成为肾病综合征患者肺栓塞评估的主要方法,但需要更多病例的研究进一步证实本研究结论。

参考文献:

- [1] Zhang LJ, Zhang Z, Li SJ, et al. Pulmonary embolism and renal vein thrombosis in patients with nephrotic syndrome: prospective evaluation of prevalence and risk factors with CT[J]. Radiology, 2014, 273(3): 897-906.
- [2] Zhang LJ, Wang ZJ, Zhou CS, et al. Evaluation of pulmonary embolism in pediatric patients with nephrotic syndrome with dual energy CT pulmonary angiography[J]. Acad Radiol, 2012, 19(3): 341-348.
- [3] Sostman HD, Jablonski KA, Woodard PK, et al. Factors in the technical quality of gadolinium enhanced magnetic resonance angiography for pulmonary embolism in PIOPED III[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2012, 28(2): 303-312.
- [4] Zhang LJ, Wu XS, Yang GF, et al. Three-dimensional contrast-enhanced magnetic resonance venography for detection of renal vein thrombosis: comparison with multidetector CT venography[J]. Acta Radiol, 2013, 54(10): 1125-1131.
- [5] Stein PD, Chenevert TL, Fowler SE, et al. Gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography for pulmonary embolism: a multicenter prospective study (PIOPED III) [J]. Ann Intern Med,

2010, 152(7): 434-443.

- [6] Revel MP, Sanchez O, Lefort C, et al. Diagnostic accuracy of unenhanced, contrast-enhanced perfusion and angiographic MRI sequences for pulmonary embolism diagnosis: results of independent sequence readings[J]. Eur Radiol, 2013, 23(9): 2374-2382.
- [7] 路莉, 张龙江. 双源双能量 CT 在肺栓塞中的应用[J]. 放射学实践, 2011, 26(8): 899-901.
- [8] 卢光明, 张龙江. 双能量 CT: 何去何从[J]. 放射学实践, 2014, 29(9): 986-987.
- [9] 张龙江, 卢光明. 双能量 CT: 回顾和展望[J]. 放射学实践, 2014, 29(9): 1016-1020.
- [10] Fink C, Henzler T, Shirinova A, et al. Thoracic magnetic resonance imaging: pulmonary thromboembolism[J]. J Thorac Imaging, 2013, 28(3): 171-177.
- [11] Hansch A, Kohlmann P, Hinneburg U, et al. Quantitative evaluation of MR perfusion imaging using blood pool contrast agent in subjects without pulmonary diseases and in patients with pulmonary embolism[J]. Eur Radiol, 2012, 22(8): 1748-1756.
- [12] 张薇, 刘士远, 肖湘生. 磁共振肺实质灌注成像的研究现状[J]. 实用放射学杂志, 2006, 22(6): 746-749.
- [13] Kluge A, Gerriets T, Stolz E, et al. Pulmonary perfusion in acute pulmonary embolism: agreement of MRI and SPECT for lobar, segmental and subsegmental perfusion defects[J]. Acta Radiol, 2006, 47(9): 933-940.
- [14] Li SJ, Guo JZ, Zuo K, et al. Thromboembolic complications in membranous nephropathy patients with nephrotic syndrome—a prospective study[J]. Thromb Res, 2012, 130(3): 501-505.
- [15] Yilmaz E, Akkoçlu A, Degirmenci B, et al. Accuracy and feasibility of dynamic contrast-enhanced 3D MR imaging in the assessment of lung perfusion: comparison with ^{99}Tc MAA perfusion scintigraphy[J]. Clin Radiol, 2005, 60(8): 905-913.

(收稿日期: 2016-07-04 修回日期: 2016-07-22)