

## 钆增强双能量 CT 诊断肺栓塞的实验研究

张龙江 路莉 周长圣 陈波 罗松 赵艳娥 柴学 王梅 卢光明

**【摘要】** 目的 评价含钆的 MR 对比剂进行双源双能量 CT 肺动脉成像(CTPA)用于诊断肺栓塞的可行性。方法 (1)用不同稀释浓度的碘对比剂和钆对比剂进行体外双源双能量 CT 成像,测量不同管电压条件下各样本的 CT 值。(2)10 只新西兰大白兔以 3 和 5 ml/kg 分 2 组注射含钆对比剂进行双能量 CT 扫描,测量不同管电压下肺动脉的强化值。6 只家兔在次日经股静脉注射明胶海绵栓子制作急性肺栓塞模型,2 h 后行双能量 CT 扫描。分别于 2 次扫描前经耳缘静脉或股静脉抽血 2~3 ml 行肾功能检查。方差分析和独立样本 *t* 检验用于分析不同组别肺动脉强化值的差别。结果 (1)同含碘对比剂相似,80 kV 管电压条件下含钆对比剂的 CT 值高于 140 kV 和平均加权 120 kV。(2)在管电压分别为 140、80、平均加权 120 kV 时,双能量 CT 定量测量显示 5 ml/kg 组家兔主肺动脉[CT 值分别为(463.1 ± 118.0)、(664.2 ± 188.0)、(522.9 ± 137.7) HU]和肺动脉 1 级分支[CT 值分别为(445.1 ± 82.3)、(606.7 ± 207.2)、(493.4 ± 117.3) HU]CT 值均高于 3 ml/kg 组[主肺动脉 CT 值分别为(258.1 ± 55.1)、(384.0 ± 92.3)、(295.4 ± 73.6) HU,肺动脉 1 级分支 CT 值分别为(245.0 ± 73.2)、(309.1 ± 94.2)、(263.8 ± 78.5) HU;*P* 值均 < 0.05]。80 kV 图像肺动脉主干和 1 级分支的 CT 值明显高于 140 kV 和平均加权 120 kV(肺动脉主干:*F* = 6.004, *P* = 0.005;1 级分支:*F* = 4.374, *P* = 0.018)。6 只栓塞组家兔 CTPA 显示两下肺动脉强化突然截断,对应的钆图显示钆含量降低,表现为蓝色伪彩色,正常非栓塞肺组织表现为红黄色伪彩色。3 和 5 ml/kg 组肌酐增加率分别为 6.7% 和 20.6%。结论 含钆 MR 对比剂具有与含碘对比剂相似的 X 线衰减特征,可用于对比增强的双能量 CT 肺成像中,同时提取出的 CTPA 以及显示肺灌注信息的钆图能够用于肺栓塞的诊断。

**【关键词】** 造影剂; 钆 DTPA; 肺栓塞; 体层摄影术, X 线计算机

### Detection of pulmonary embolism with gadolinium-enhanced dual energy CT: an experimental study

ZHANG Long-jiang, LU Li, ZHOU Chang-sheng, CHEN Bo, LUO Song, ZHAO Yan-e, CHAI Xue, WANG Mei, LU Guang-ming. Department of Medical Imaging, Nanjing General Hospital of Nanjing Military Command, Nanjing 210002, China

Corresponding author: LU Guang-ming, Email: cjr. luguangming@vip. 163. com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the feasibility of gadolinium-enhanced dual energy CT pulmonary angiography (CTPA) in detecting pulmonary embolism (PE). **Methods** In vitro dual energy CT of phantoms of gadolinium and iodinated contrast agents with different diluted ratio was performed, and CT values were measured at different tube voltages. Ten rabbits which were grouped into 3 ml/kg and 5 ml/kg groups underwent dual energy CT scan. CT values of pulmonary artery trunk and the first branch of pulmonary artery were measured. Sponge gelatin were injected into the femoral vein of 6 rabbits to make PE model next day, then lungs were re-imaged with dual energy CT 2 h after embolization. Creatinine was repeatedly measured before and one day after injection of gadolinium via ear marginal vein or femoral vein sampling. One-way ANOVA test and independent student *t* test were used to analyze the difference of pulmonary artery enhancement between different groups. **Results** (1) Compared with iodinated contrast agent, CT value of gadolinium-based contrast agent at 80 kV was higher than those at 140 kV and average-weighted 120 kV. (2) At 140, 80, and average weighted 120 kV, CT values of pulmonary artery trunk [CT values were (463.1 ± 118.0), (664.2 ± 188.0), (522.9 ± 137.7) HU] and of the first branch of pulmonary artery [CT values were (445.1 ± 82.3), (606.7 ± 207.2), (493.4 ± 117.3) HU] were higher than those at 3 ml/kg [CT value of pulmonary artery trunk was (258.1 ± 55.1), (384.0 ± 92.3), (295.4 ± 73.6) HU, CT value of the first branch of pulmonary artery (245.0 ± 73.2), (309.1 ± 94.2), (263.8 ± 78.5) HU; all *P* < 0.05]. CT values of pulmonary artery trunk and the first branch of pulmonary

artery at 80 kV were higher than those at 140 kV and average-weighted 120 kV (pulmonary artery trunk:  $F = 6.004$ ,  $P = 0.005$ ; the first branch of pulmonary artery:  $F = 4.374$ ,  $P = 0.018$ ). In 6 rabbits, CTPA showed the enhancement cut-off of bilateral pulmonary arteries, gadolinium mapping showed decreased perfusion in the corresponding lung lobes, manifested as blue on color-coded map, while normal lung was color coded as red or yellow. Creatinine was higher by 6.7% and 20.6% for group 3 ml/kg and 5 ml/kg.

**Conclusions** With similar X-ray attenuation characteristics as iodine, gadolinium-based contrast agent can be used to pulmonary contrast-enhanced dual energy CT imaging, simultaneously providing both CTPA and gadolinium maps to detect PE.

**【Key words】** Contrast media; Gadolinium DTPA; Pulmonary embolism; Tomography, X-ray computed

多层螺旋 CT 肺动脉成像 (CT pulmonary angiography, CTPA) 已成为肺栓塞检测的首选影像检查方法。随着双源 CT 的问世,双能量的 CTPA 可同时提供高分辨的肺动脉解剖学信息和全肺灌注信息,已经用于检测肺栓塞,显示了积极的价值<sup>[1-2]</sup>。然而,CTPA 常需用碘对比剂进行增强扫描,大约有 4.6%~8.5% 的患者对碘对比剂过敏,轻者可出现皮肤红疹,严重者可出现喉头水肿,甚至死亡<sup>[3]</sup>。对这些患者常需要进行其他检查,如 MRA 或核素肺通气灌注显像来帮助诊断,但 MRA 对肺段及肺段以下栓子的检出率非常低<sup>[4]</sup>,加之幽闭恐怖、装有生命支持设备的患者不能进行 MR 检查;核素肺通气灌注显像不能提供解剖学信息,在 26.5% 的患者难以提供确切的诊断<sup>[5]</sup>。因此,在这种情况下利用其他对比剂进行 CTPA 检查成为一种很好的替代,钆对比剂在以往文献中已经用于肺栓塞的检测<sup>[6-7]</sup>。本研究的目的是评价钆增强的双能量 CT 是否能提供足够用于诊断肺栓塞的肺动脉和灌注图像。

## 资料与方法

1. 体外模型制备:取含钆对比剂 (Gd-DTPA) 和含碘对比剂 (碘帕醇 300 mg I/ml) 分别以 1:0、1:1、1:2、1:4、1:8、1:16、1:32、1:64、1:128 比例配制成 9 种不同浓度液体。如 1:2 的浓度即取对比剂 5 ml,生理盐水 10 ml,依次类推。各取 10 ml 注射到 15 ml 试管中。以生理盐水 10 ml 作为各自对照。

2. 动物分组及模型建立:成年健康新西兰大白兔 10 只,体重 2.5~4.0 kg,雌雄不限,由本院比较医学科提供。每只家兔腹腔注射 8~15 ml 水合氯醛进行麻醉。首日将动物分为 2 组,每组各 5 只,分别接受 3 和 5 ml/kg 对比剂行双能量 CT 检查,检查前经耳缘静脉采血 2~3 ml 送实验室做肌酐检查,次日模型制作前经股深静脉或耳缘静脉抽血 2~3 ml 送实验室再次行肌酐检查。采用明胶海绵作为栓子,将其剪成大小约 4 mm×2 mm×10 mm 和 4 mm×4 mm×10 mm 的 2 种栓子。常规麻醉家兔

后,取仰卧位,暴露右侧股静脉,用 3 F 穿刺套管针行股静脉穿刺插管,将上述栓子各 2 个以先小栓子后大栓子的顺序注入股静脉,使栓子随着血流随机栓塞肺动脉,结扎股静脉远端,缝合切口皮肤。模型建立 2 h 后行双源双能量 CT 检查。10 只兔中,6 只注入明胶海绵栓子,余家兔亦常规麻醉,暴露右侧股静脉,但未注入明胶海绵栓子。

3. 双源双能量 CT 成像:采用德国西门子医疗系统第 1 代双源 CT 机。首先将样本平放在扫描床上进行双能量 CT 扫描。扫描参数:X 线 A、B 管电压分别为 140 和 80 kV, X 线管 A、B 参考管电流分别为 51 和 213 mA,开启实时动态曝光剂量调节 (combined application reduce exposure dose 4D, CareDose4D),准直器 64×0.6 mm, X 线管旋转时间 0.33 s/周,螺距 0.5,扫描时间 2 s。

对家兔栓塞前 1 d 和栓塞日分别行双能量 CT 检查,先行肺部平扫确定家兔肺内有无病变。扫描范围为肺尖至肺底,扫描参数:管电压 120 kV,参考管电流 130 mAs,开启 CareDose4D,准直器 64×0.6 mm, X 线管旋转时间 0.5 s/周,螺距 1.4,矩阵 512×512,扫描时间 2~3 s。平扫完成后进行对比增强双能量 CT 扫描,扫描参数同样本,扫描时间 3~4 s。对比剂采用 Gd-DTPA,经耳缘静脉以 1.8 ml/s 流率应用双筒高压注射器注射,剂量 3 或 5 ml/kg;延迟时间 3 s;注射完毕后再以相同的流率注射 10 ml 生理盐水,以减少上腔静脉内对比剂的残留;扫描方向由头侧向足侧。

扫描完成后,原始数据自动重建为 3 组层厚为 0.75 mm 的数据,分别为 80 和 140 kV 及两者按 3:7 的比例融合图像 (平均加权 120 kV)。在工作站 (Syngommwp VE31A) 上利用西门子双能量肺灌注成像软件 (perfused blood volume, PBV) 进行数据分析,得到 CTPA、肺双能量灌注成像 (dual energy perfusion imaging, DEPI) 及 CTPA-DEPI 融合图像,3 种图像均可以横轴面、冠状面和矢状面显示。DEPI 计算的 CT 值范围为 -960~-200 HU,相对

对比剂强化值为 1.5, 范围为 4; 栓塞后采用相同的阈值范围。选择肺灌注的伪彩色为灰阶 16 比特 (bit) 和 PET 彩虹 16 比特 (PET Rainbow 16 bit), 用不同颜色代表肺灌注的情况, 红色为高灌注, 蓝色为低灌注。

根据以下公式计算肌酐增加率: 肌酐增加率 = (注射钆后肌酐 - 注射钆前肌酐) / 注射钆前肌酐 × 100%。测量不同对比剂不同稀释浓度在不同管电压条件下的 CT 值, 选取圆形 ROI, 尽量包括整个样本。测量家兔不同管电压条件下肺动脉的强化值, 测量部位为肺动脉主干和肺动脉 1 级分支。同样选取圆形 ROI, 尽量包括横断面上该肺动脉截面。在 DEPI 图像上测量肺组织的强化程度, 测量均在右肺进行, 在上中下肺野分别选取 1 个 ROI, 取其均值作为强化值。以病理学结果为参照, 在 DEPI 图像上测量栓塞区和非栓塞区的强化值。

4. 病理解剖: CT 扫描后, 经耳缘静脉注入过量水合氯醛处死家兔, 立即解剖取出双肺用生理盐水冲洗, 观察大体标本并摄影, 10% 甲醛溶液固定。因膈叶较小, 取材时排除, 其余 5 叶连续取材, 常规 HE 染色, 镜下观察栓子有无、位置及肺组织病理改变。

5. 统计学分析: 采用 SPSS 13.0 统计分析软件。定量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示, 定性资料以率或百分数表示。Pearson 相关分析用于评价含钆和含碘对比剂在不同管电压条件下的相关性。方差分析用于分析 3 种管电压条件下肺动脉强化值的差别。独立样本 *t* 检验用于分析 3 和 5 ml/kg 肺动脉主干和 1 级分支 CT 值、肺组织强化值以及栓塞区和非栓塞区强化值的差别。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

## 结 果

1. 体外模型: 含钆和含碘对比剂不同稀释浓度样本在不同管电压下所测的 CT 值见表 1, 尽管含钆对比剂的 CT 值低于同等稀释浓度的含碘对比剂, 但同含碘对比剂相似, 80 kV 管电压条件下含钆对比剂的 CT 值高于 140 kV 和平均加权 120 kV。对不同管电压条件下含钆和含碘对比剂样品所测 CT 值的相关性分析显示, 140 和 80 kV 以及平均加权 120 kV 图像所测 CT 值均有很好的相关性 (*r* 值分别为 0.983、0.872、0.961, *P* 值均 < 0.01)。

2. 动物模型: 10 只家兔均完成栓塞前 1 d 双能量 CT 扫描, 各有 1 只家兔在第 2 天栓塞前后因麻醉过量死亡, 剩余 8 只家兔中, 6 只家兔行股静脉切开注射明胶海绵后 2 h 进行了双能量 CT 扫描, 2 只家兔未注射栓子作为对照组进行了重复扫描。1 只对照组家兔在耳缘静脉采血过程中血凝块被推到血循环中导致左肺下叶动脉肺栓塞形成, 1 只对照组家兔无肺栓塞表现; 6 只栓塞组家兔均显示肺动脉栓塞。肺的大体标本观察见栓塞肺叶表面颜色加深, 正常肺叶呈粉红色。结合显微镜下观察显示 6 只栓塞组家兔 13 个肺叶动脉内明胶海绵存在, 1 只对照组家兔 1 个肺叶动脉内血栓, 26 个肺叶动脉内未见明显海绵栓子存在。

栓塞前双能量 CT 定量测量显示 5 ml/kg 组家兔主肺动脉和肺动脉 1 级分支 CT 值及肺组织的强化值均高于 3 ml/kg 组 (表 2)。80 kV 图像肺动脉主干和 1 级分支的 CT 值明显高于 140 kV 和平均加

表 1 不同管电压条件下含钆和含碘对比剂不同稀释浓度样本所测 CT 值 (HU)

对比剂和管电压	1:0	1:1	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64	1:128	0:1
钆										
140 kV	1966.9	1076.4	728.0	467.4	249.2	137.3	86.3	41.1	26.5	5.2
80 kV	3025.9	1605.1	1057.5	669.6	361.4	207.3	131.3	66.2	42.9	15.2
120 kV	2278.9	1241.3	825.6	529.0	281.0	157.1	99.9	50.9	32.3	6.6
碘										
140 kV	3069.9	2239.8	1592.7	1053.3	574.6	267.8	216.6	154.0	73.6	3.9
80 kV	3069.6	3070.5	2822.9	1804.7	845.5	498.2	401.4	288.7	137.1	4.9
120 kV	3069.7	2470.2	1903.0	1242.9	436.0	336.9	270.1	195.3	91.2	4.2

注: 1:0 为仅含有对比剂, 0:1 为仅含有生理盐水, 其他为对比剂: 生理盐水

表 2 注射 3 和 5 ml/kg 钆对比剂组各 5 只兔肺动脉及 1 级分支在不同管电压条件下 CT 强化值的比较 (HU,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	主肺动脉 CT 强化值 (kV)			1 级分支 CT 强化值 (kV)			肺组织强化值
	140 kV	80 kV	120 kV	140 kV	80 kV	120 kV	
3 ml/kg 组	258.1 ± 55.1	384.0 ± 92.3	295.4 ± 73.6	245.0 ± 73.2	309.1 ± 94.2	263.8 ± 78.5	51.9 ± 8.7
5 ml/kg 组	463.1 ± 118.0	664.2 ± 188.0	522.9 ± 137.7	445.1 ± 82.3	606.7 ± 207.2	493.4 ± 117.3	110.0 ± 40.9
<i>t</i> 值	-3.391	-4.063	-2.991	-2.925	-3.257	-3.638	-3.102
<i>P</i> 值	0.009	0.004	0.017	0.019	0.012	0.007	0.015

权 120 kV (肺动脉主干:  $F = 6.004, P = 0.005$ ; 1 级分支:  $F = 4.374, P = 0.018$ )。CTPA 图像显示 9 只家兔无论在 140 kV、80 kV 还是平均加权 120 kV 图像上均显示肺动脉均匀强化,并逐渐变细;双能量钆图显示双肺灌注基本对称均匀(图 1,2);1 只家兔左下肺动脉强化突然截断,对应的钆图显示左下肺钆含量降低,表现为蓝色伪彩色,乃因耳缘静脉采血过程血凝块被推到血循环中导致肺栓塞形成所致。

6 只栓塞组家兔增强横断面 CT 及 CTPA 显示两下肺动脉强化突然截断,对应的钆图显示钆含量降低,表现为蓝色伪彩色,正常非栓塞肺组织表现为红黄色伪彩色(图 3~9)。栓塞和非栓塞区强化值

的定量比较也显示,栓塞区的强化值 [ $(-8.5 \pm 9.5)$  HU] 明显低于非栓塞区 [ $(101.2 \pm 20.7)$  HU, ( $t = 12.741, P < 0.01$ )]。1 只对照组家兔 CTPA 显示两下肺动脉均匀强化,并逐渐变细;双能量钆图显示双肺灌注基本对称均匀。1 只左下肺动脉栓塞者复查 CTPA 显示栓子向远端延伸,而钆图也显示灌注降低区较前减小,提示钆增强的双能量 CT 可用于肺栓塞的随访观察。

栓塞前后血生化肾功能检查:3 和 5 ml/kg 组各 4 只完成检查,其中注射对比剂前 3 ml/kg 组肌酐水平为  $(56.5 \pm 9.1) \mu\text{mol/L}$  (48 ~ 69  $\mu\text{mol/L}$ ), 5 ml/kg 组肌酐水平为  $(56.8 \pm 17.9) \mu\text{mol/L}$  (34 ~

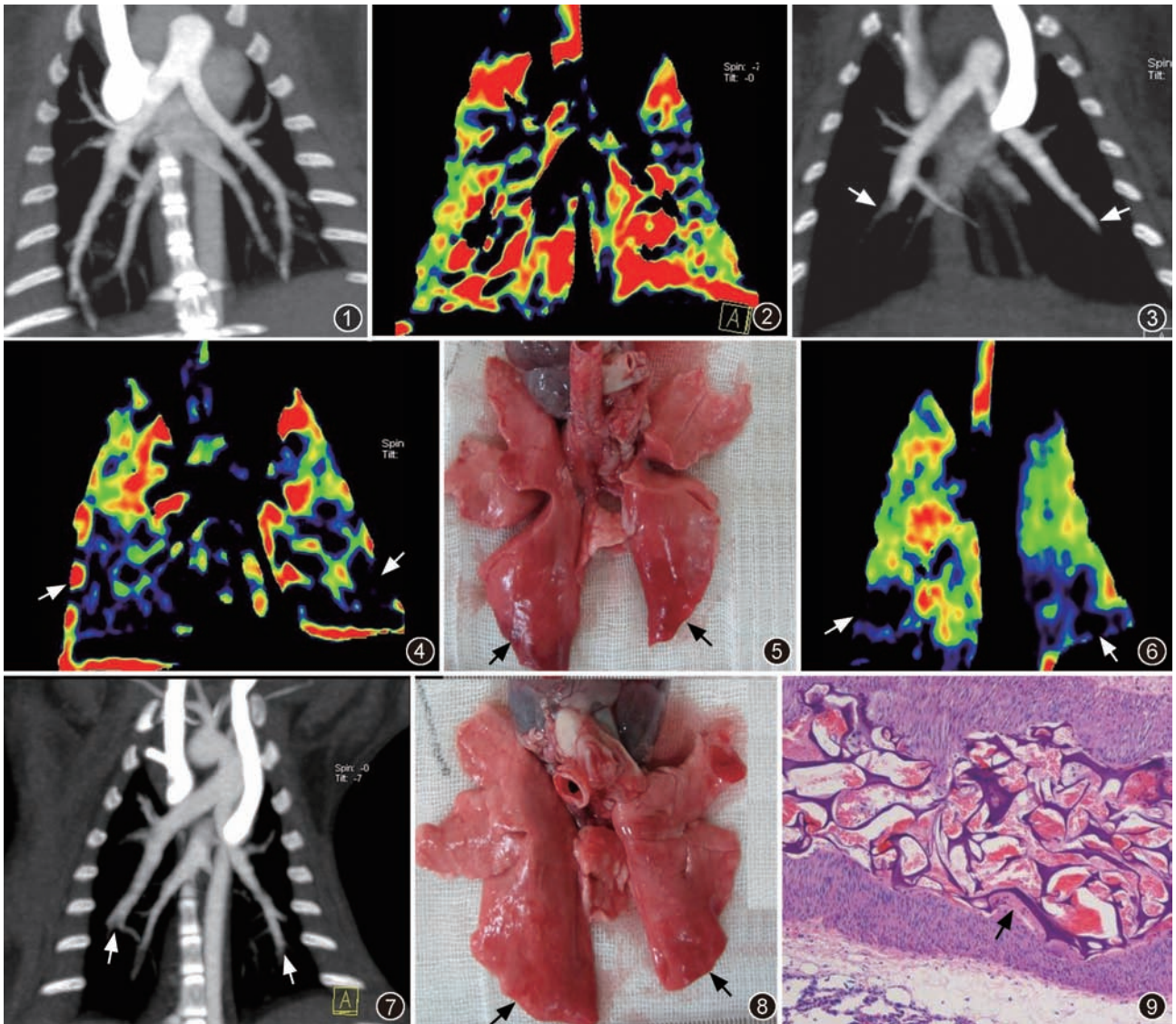


图 1~5 为同 1 只家兔栓塞前后的 CT 及组织病理切片。图 1 为栓塞前的 CT 肺动脉成像(CTPA),见双下肺动脉管径逐渐变细,图 2 为冠状面钆图,两肺灌注基本均匀。图 3 为栓塞后的 CTPA,显示两下肺动脉截断(箭)。图 4 为对应的冠状面钆图,显示两下肺灌注降低,表现为蓝色伪彩色(箭)。图 5 为大体标本,显示两下肺叶颜色变深红(箭) 图 6~9 为同 1 只家兔栓塞后 2 h 的 CT 及组织病理切片。图 6 为对应的冠状面钆图,显示两下肺灌注降低,表现为蓝黑色伪彩色(箭)。图 7 为栓塞后的 CTPA,显示两下肺动脉截断(箭)。图 8 为大体标本,显示两下肺叶颜色略变深红(箭)。图 9 为镜下观(HE  $\times 200$ ),可见管腔内明胶海绵栓子(箭)

72  $\mu\text{mol/L}$ );注射对比剂后次日 3 ml/kg 组肌酐水平为(60.3  $\pm$  10.4)  $\mu\text{mol/L}$  (46.0 ~ 69.0  $\mu\text{mol/L}$ ), 5 ml/kg 组肌酐水平为(68.5  $\pm$  30.5)  $\mu\text{mol/L}$  (34.0 ~ 90.0  $\mu\text{mol/L}$ )。3 和 5 ml/kg 组肌酐增加率分别为 6.7% (0 ~ 22.9%) 和 20.6% (0 ~ 36.1%)。

## 讨 论

本研究证实,含钆 MR 对比剂具有与含碘对比剂相似的 X 线衰减特征,可用于对比增强双能量 CT 肺成像中,同时提取出的常规 CT 肺动脉成像以及显示钆分布的钆图能够用于肺栓塞的诊断。查阅文献,笔者目前还没有发现利用含钆 MR 对比剂用于对比增强双能量 CT 肺成像的研究报道。

尽管利用含钆对比剂进行 CTPA 的研究已有文献报道<sup>[6-7]</sup>,但没有文献证实含钆对比剂可用于双能量 CT 成像能同时提取出 CTPA 和钆图,用于肺栓塞及其所致灌注缺损的检测。已有较多文献显示,注射或吸入高原子序数的物质,例如碘<sup>[1-2]</sup>和氙气,根据对比剂的衰减特征利用双能量 CT 可以描绘和定量肺的灌注和通气异常。碘的原子序数为 53,原子量为 127;而钆的原子序数为 64,原子量为 157,理论上可用于肺双能量 CT 成像。本实验的体外研究部分证实,钆在 80 kV 的 CT 值明显高于 140 kV 和平均加权 120 kV 的 CT 值,其在 80 kV 的 CT 值大约是 140 kV 时的 1.5 倍,证实了钆对比剂用于双能量 CT 的可行性。肺栓塞动物模型的钆增强双能量 CT 的研究也进一步证实,该技术如同碘增强的双能量 CT 一样<sup>[1-2]</sup>,可提供高分辨的肺动脉解剖图像,描绘肺动脉栓塞后所致的肺灌注缺损。1 只家兔在经耳缘静脉抽血时不慎将血凝块注入后形成左下肺动脉栓塞,首次双能量 CTPA 显示了肺动脉强化中断,对应的钆图显示明显的灌注缺损;次日复查双能量 CT 发现栓塞向肺动脉远端移动,对应的钆图也显示灌注缺损范围缩小。这一发现提示,钆增强的双能量 CT 有潜力用于肺栓塞的随访观察。然而本实验样本量较少,未计算钆增强双能量 CTPA 诊断肺栓塞的准确度,有待于在以后的研究中证实。

钆增强双能量 CT 肺成像主要应用于那些对碘对比剂严重过敏以及拟进行<sup>131</sup>I 治疗甲状腺病变的患者<sup>[8]</sup>。尽管临床研究证实,对肾功能障碍患者用于 CTPA 检查的钆用量在绝大多数患者不会导致肾功能的进一步恶化<sup>[6-7,9]</sup>,但高剂量的钆对比剂对肾功能仍会产生一定影响。本组 5 ml/kg 组中 2 只家兔在注射钆对比剂 1 d 后肌酐最高升高了 36.1%。

虽然可能存在由于采血方式不一致造成的误差,但在一定程度上提示高剂量的钆存在肾毒性;也有实验研究证实高达 3 ml/kg 钆用量不会产生肾毒性<sup>[10]</sup>。实际上,在同样的 X 线衰减剂量下,钆对比剂较碘对比剂有更多的肾毒性<sup>[8]</sup>。此外,近年来报道的因含钆对比剂的使用所致的肾源性系统性纤维化使放射科医师在肾功能障碍患者进行钆增强的 MRI 时重新面临艰难的选择,然而国内大宗病例追踪尚未见类似报道<sup>[11]</sup>。本研究的发现还为临床钆增强 CTA 的研究提供了新的借鉴,即利用 80 kV 进行钆增强 CTPA 会进一步改善图像质量,提高诊断的自信程度。以往研究也证实 80 kV 图像肺动脉的平均 CT 值、信噪比及对比噪声比明显高于 140 kV 图像和平均加权 120 kV 图像<sup>[12]</sup>。此外,利用单源 CT 80 kV 管电压进行肺动脉 CTA 检查相比于常规 120 kV 管电压而言还可以降低患者所接受的辐射剂量<sup>[12]</sup>。

总之,本研究结果表明,含钆 MRI 对比剂具有与含碘对比剂相似的 X 线衰减特征,可用于对比增强双能量 CT 肺成像中,同时提取出的常规 CT 肺动脉成像以及显示钆分布的钆图能够用于肺栓塞的诊断。

## 参 考 文 献

- [1] 张龙江,卢光明,黄伟,等. 双源 CT 肺双能量灌注成像的初步观察. 中华放射学杂志,2008,42:1183-1186.
- [2] Zhang LJ, Zhao YE, Wu SY, et al. Pulmonary embolism detection with dual-energy CT: experimental study of dual-source CT in rabbits. *Radiology*,2009,252:61-70.
- [3] Gul KM, Mao SS, Gao Y, et al. Noninvasive gadolinium-enhanced three dimensional computed tomography coronary angiography. *Acad Radiol*,2006,13:840-849.
- [4] Stein PD, Chenevert TL, Fowler SE, et al. Gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography for pulmonary embolism: a multicenter prospective study (PIOPED III). *Ann Intern Med*,2010,152:434-443.
- [5] Sostman HD, Stein PD, Gottschalk A, et al. Acute pulmonary embolism: sensitivity and specificity of ventilation-perfusion scintigraphy in PIOPED II study. *Radiology*,2008,246:941-946.
- [6] Remy-Jardin M, Bahepar J, Lafitte JJ, et al. Multi-detector row CT angiography of pulmonary circulation with gadolinium-based contrast agents: prospective evaluation in 60 patients. *Radiology*,2006,238:1022-1035.
- [7] Remy-Jardin M, Dequiedt P, Ertzbischoff O, et al. Safety and effectiveness of gadolinium-enhanced multi-detector row spiral CT angiography of the chest: preliminary results in 37 patients with contraindications to iodinated contrast agents. *Radiology*,2005,235:819-826.
- [8] Thomsen HS, Almèn T, Morcos SK, et al. Gadolinium-containing contrast media for radiographic examinations: a position paper. *Eur Radiol*,2002,12:2600-2605.
- [9] Carrascosa P, Capuñay C, Deviggiano A, et al. Feasibility of 64-slice gadolinium-enhanced cardiac CT for the evaluation of

obstructive coronary artery disease. Heart, 2010, 96:1543-1549.

[10] Kalinowski M, Goldmann K, Gotthardt M, et al. Effectiveness and renal tolerance of multidetector helical CT with gadobutrol: results of a comparative porcine study. Radiology, 2007, 244: 457-463.

[11] Zou Z, Ma L, Li H. Incidence of nephrogenic systemic fibrosis at Chinese PLA General Hospital. J Magn Reson Imaging, 2009, 30: 1309-1312.

[12] Sangwaiya MJ, Kalra MK, Sharma A, et al. Dual-energy computed tomographic pulmonary angiography: a pilot study to assess the effect on image quality and diagnostic confidence. J Comput Assist Tomogr, 2010, 34:46-51.

(收稿日期:2010-12-17)

(本文编辑:任晓黎)

## · 病例报告 ·

### CT 引导下肺穿刺活检并发体循环空气栓塞一例

孙占国 陈月芹 王彦辉 史志涛 黄书然 王林省

患者 男,75 岁,咳嗽、咳痰 20 余年,痰中带血 2 年、加重 10 d,于 2011 年 5 月 5 日来我院就诊。胸部 CT 增强扫描显示:左肺下叶前基底段不规则软组织密度影,呈中等强化,边界清楚,约 4.1 cm × 2.1 cm,前邻斜裂胸膜,病灶内支气管轻度扩张,血管分支走行僵直(图 1,2)。依据 CT 诊断左肺下叶炎性病变。临床抗炎治疗 2 周后,复查胸部 CT,病变无明显变化。为除外肿瘤,于 2011 年 5 月 22 日行 CT 引导下肺穿刺活检。

穿刺定位采用德国 Siemens Emotion 16 排螺旋 CT,轴面扫描,层厚 4.8 mm,重建层厚 2.4 mm。患者取右侧卧位,在体表作定位标记,沿体表标记点,采用 18 G 100 mm 半自动切割活检针(意大利 HS Hospital Service S. P. A Precisa)经皮穿刺,扫描示针尖在病灶内,拔出针芯,迅速置入活检针,再次扫描示针槽位于病灶内(图 3)。嘱患者屏气,激活活检针,迅速拔出穿刺针,切取少量组织。患者无明显不适,随即行第 2 针穿刺。CT 图像显示针尖位于病灶外缘,但左心室、冠状动脉、降主动脉内见多发气体密度影,其中降主动脉内可见气液平面(图 4,5)。患者呼之不应,立即退出检查床,拔出穿刺针,将患者置平卧位。检查见患者面色苍白,脉搏微弱,呼吸动度减弱,测量血压 90/50 mm Hg(1 mm Hg = 0.133 kPa),听诊双肺呼吸音低,心音微弱。立即建立静脉通道,给予简易呼吸器面罩加压吸氧,快速补液,静推肾上腺素 2 mg、地塞米松 10 mg,并送监护室抢救。查体:双侧瞳孔散大,直径约 5 mm,对光反射消失。心电图示室性逸搏心律,心率 40 次/min,给予胸外心脏按压、气囊辅助呼吸、肾上腺素静脉注射,抢救 6 h 无效,患者死亡。穿刺标本病理检查结果为炎症,部分肺泡扩张伴间质纤维结缔组织增生和慢性炎细胞浸润;回顾性分析病理切片可找到 2 处肺静脉管壁

碎片(图 6)。诊断死因为体循环空气栓塞。

**讨论** 有关肺穿刺活检并发空气栓塞的报道,近 30 年英文文献不足 30 例<sup>[1-3]</sup>,国内仅见个案报道<sup>[4]</sup>。有报道其发生率仅 0.02% ~ 0.07%<sup>[1-3]</sup>。然而,随着对其认识的提高,发现其发生率可高达 0.21% ~ 0.40%,只是很大一部分无症状患者被漏诊<sup>[5]</sup>。其中 Hiraki 等<sup>[5]</sup>发现的 4 例非致命性空气栓塞中即有 3 例无相应临床症状。为提高对该并发症的认识及诊治水平,笔者结合相关文献就其发生机制、诊断、预防及治疗措施探讨如下。

1. 肺穿刺活检并发体循环空气栓塞的发生机制:肺穿刺活检并发的体循环空气栓塞是气体由肺静脉经左心房、左心室进入体循环形成的。气体进入肺静脉的可能途径有 3 条<sup>[3]</sup>:(1)针腔暴露于空气,若患者出现深吸气,空气可经穿刺针直接进入肺静脉;(2)穿刺针刺破肺内含气组织并同时刺破肺静脉,若肺内压增高,肺内气体可经穿刺针道进入肺静脉;(3)因各种原因导致气体进入肺动脉,然后经肺微循环或肺动静脉瘘等进入肺静脉。本例患者病史较长,结合术前 CT 片及术后病理结果,考虑发生体循环空气栓塞的原因可能是,长期炎症使病变区肺组织出现纤维化,肺组织顺应性差,血管固定、易损伤,肺组织和血管同时受损,创口不易闭合,同时由于纤维成分的支撑作用使穿刺针道开放时间延长,在此病理解剖基础上肺内空气经穿刺针道进入肺静脉形成空气栓塞。因此,肺穿刺活检术前需结合临床病史全面评价患者影像资料,严格掌握适应证。对于慢性炎症合并支气管扩张的患者应尽量不进行穿刺活检。另外本例患者术中虽然未出现咳嗽,但其为慢性阻塞性肺疾病患者,气道压力较高,穿刺前应耐心进行平静呼吸下自然屏气训练,避免用力屏气进一步增加气道压力。

2. 诊断:肺穿刺活检术中患者出现失语、偏瘫、癫痫发作、意识丧失、血压下降、心脏骤停、休克等症状时,应警惕空气栓塞的发生<sup>[1-5]</sup>。颅脑、胸部 CT 可根据心血管系统有无游离气体而明确诊断。本例胸部 CT 诊断明确,与术前强化 CT 片对比可以确定含气冠状动脉包括左冠状动脉前降支、

DOI:10. 3760/cma. j. issn. 1005-1201. 2012. 01. 021

作者单位:272029 山东,济宁医学院附属医院 CT 室 山东省心脏病诊疗重点实验室(孙占国、陈月芹、王彦辉、史志涛、王林省),ICU-2 区(黄书然)