

精准数学模型在肺动脉 CT 成像中的应用

唐智明, 何卫红, 钱其林, 吴小红

(南华大学附属第二医院放射影像中心, 湖南省衡阳市 421001)

[关键词] 肺动脉; 数学模型; 体层摄影术; X 线计算机; 小剂量测试

[摘要] **目的** 探讨数学模型在肺动脉 CT 成像中的可行性及合理性。**方法** 将 180 例临床需行肺动脉 CT 检查的患者随机分为 3 组。数学模型组以肺动脉与肺静脉交叉点时间为扫描延迟时间, 采用数学模型计算对比剂及生理盐水用量; 固定用量组以肺动脉与肺静脉交叉点时间为扫描延迟时间, 固定注射 35 mL 对比剂及 50 mL 生理盐水; 对照组以肺动脉达峰时间+2 s 为扫描延迟时间, 固定注射 35 mL 对比剂及 50 mL 生理盐水。测量肺动脉干、尖段肺动脉、后底段肺动脉、上腔静脉 CT 值, 主观评价图像质量和上腔静脉硬化伪影, 并进行统计分析。**结果** 数学模型组生理盐水及对比剂用量均明显低于固定用量组和对照组 ($P<0.05$); 3 组所测肺动脉 CT 值差异无显著性 ($P>0.05$); 上腔静脉 CT 值数学模型组低于固定用量组及对照组 ($P<0.05$); 图像质量评分数学模型组及固定用量组高于对照组 ($P<0.05$); 上腔静脉硬化伪影数学模型组少于固定用量组和对照组 ($P<0.05$)。**结论** 该数学模型在肺动脉 CT 成像中的应用可行且减少了对比剂及生理盐水用量, 提高了图像质量, 值得临床推广。

[中图分类号] R816.4

[文献标识码] A

Application of precise mathematical model in pulmonary artery CT imaging

TANG Zhiming, HE Weihong, QIAN Qilin, WU Xiaohong

(Radiographic Imaging Center, the Second Affiliated Hospital, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

[KEY WORDS] pulmonary artery; mathematical model; tomography; X-ray computed; test blous

[ABSTRACT] **Aim** To explore the feasibility and rationality of mathematical model in pulmonary artery CT imaging. **Methods** A total of 180 patients with clinically need for pulmonary artery CT were randomly divided into three groups; the mathematical model group, the time at the intersection of pulmonary artery and pulmonary vein was taken as the scanning delay time, and the dosage of contrast agent and normal saline was calculated by mathematical model; The fixed dosage group, the time at the intersection of pulmonary artery and pulmonary vein was used as the scanning delay time, 35 mL contrast agent and 50 mL normal saline were fixed; The comparative group, pulmonary artery peak time add 2 s was used as the scanning delay time, and 35 mL contrast agent and 50 mL normal saline were fixed. CT values of main pulmonary artery (MPA), apical pulmonary artery, posterior bottom pulmonary artery and superior vena cava (SVC) were measured. Image quality and SVC sclerosis artifacts were evaluated subjectively and analyzed statistically. **Results** The dosage of normal saline and contrast agent in the mathematical model group was significantly lower than that in the fixed dosage group and comparative group ($P<0.05$). There was no significant difference in CT value of pulmonary artery between the three groups ($P>0.05$). CT value of SVC in the mathematical model group was lower than that in the fixed dosage group and comparative group, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). Image quality scores of the mathematical model group and fixed dosage group were higher than the comparative group. The sclerosis artifacts of SVC, the mathematical model group were less than those of the fixed dosage group and comparative group. **Conclusion** The application of the mathematical model is feasible and the amount of contrast agent and normal saline is reduced, and the image quality is improved, which is worth popularizing.

[收稿日期] 2020-09-22

[修回日期] 2021-04-15

[基金项目] 湖南省科技厅临床医疗技术创新引导项目(2017SK50212)

[作者简介] 唐智明, 主管技师, 研究方向为 CT 成像, E-mail 为 172109106@qq.com。通信作者何卫红, 主任技师, 研究方向为 CT 和 MRI 成像, E-mail 为 hwh9922@163.com。

随着技术的进步,CT 肺动脉成像(CT pulmonary angiography,CTPA)已经成为诊断肺动脉栓塞的常规检查方法^[1]。目前肺动脉 CT 成像中,对比剂和生理盐水的用量多为固定值^[2-3],而对于不同的个体及不同的扫描机型,使用固定量对比剂和生理盐水势必存在扫描完成仍在注射或者扫描未完成已经注射完毕的情况,因此会造成浪费或用量不足。本研究探讨运用数学模型计算对比剂及生理盐水用量在 CTPA 中的可行性及合理性。

1 资料和方法

1.1 临床资料

2019 年 1 月—2020 年 1 月于本院接受 CTPA 检查患者 180 例,其中男性 102 例,女性 78 例,年龄 20~86 岁,平均 (58.53 ± 11.37) 岁;体质指数 $(18.7 \sim 30.6) \text{ kg/m}^2$,平均 $(22.16 \pm 5.41) \text{ kg/m}^2$,随机均分成数学模型组、固定用量组和对照组,每组 60 例。检查前全部受检者知情并均签署 CT 增强检查知情同意书。

1.2 CTPA 参数及小剂量测试

扫描设备为 Philips Brilliance 256 层螺旋 CT。扫描参数为:管电压 100 kV,自动管电流调制,螺距 0.914,准直器宽度为 0.625 mm/排 $\times 128$ 排,机架转速 0.4 s/r,重建层厚 0.9 mm,重建间隔 0.45 mm。对比剂为碘克沙醇(320 g/L),采用德国 Ulrich 高压注射器经肘前静脉注射,注射速率 5.0 mL/s。足头方向扫描,扫描范围肺底至肺尖。

CTPA 扫描:采用小剂量团注测试技术(test bolus)。检测层面定于肺动脉主干水平层面,先以 5 mL/s 速率注射 10 mL 对比剂和 20 mL 生理盐水,扫描前嘱患者憋气,注药同时开始低剂量监测扫描(管电压 80 kV,管电流 20 mAs),当主动脉有对比剂时停止扫描。扫描结束后将图像载入 Test-Injection 程序中,获得肺动脉及肺静脉的时间-密度曲线。对照组扫描延迟时间为肺动脉达峰时间+2 s,固定注射 35 mL 对比剂及 50 mL 生理盐水^[3-4]。数学模型组和固定用量组扫描延迟时间为肺动脉与肺静脉交叉点时间,固定用量组固定注射 35 mL 对比剂及 50 mL 生理盐水,数学模型组改良窦瑞雨等^[5]及 Saade 等^[6]数学模型计算对比剂及生理盐水用量,生理盐水用量=肺动脉达峰时间 $\times$ 注射速度,对比剂用量=(扫描时间+扫描延迟时间-肺动脉达峰时间) $\times$ 注射速度。

1.3 CT 成像评价标准

由 2 名高年资医师采用双盲法对 3 组图像质量进行评价分析,并最终协商达成一致意见。

1.3.1 图像质量客观评价标准 测定肺动脉干(main pulmonary artery,MPA)、尖段肺动脉、后底段肺动脉、上腔静脉(superior vena cava,SVC)等血管的 CT 值,选定所测血管感兴趣区域应尽可能包括血管最大直径。

1.3.2 图像质量主观评价标准 结合横轴面、矢状面、冠状面 MIP 和 MPR 图像,采用 5 分法对肺动脉血管断层图像进行主观分级^[7]。评分标准如下:1 分为肺动脉血管未见明显强化;2 分为肺动脉段及亚段血管强化程度比较差,相邻肺静脉强化较明显;3 分为肺动脉段及亚段血管与伴行的肺静脉强化程度接近;4 分为肺动脉段及亚段血管强化明显,伴行的肺静脉稍有强化但低于肺动脉;5 分为肺动脉段及亚段血管强化明显,伴行肺静脉未见强化。

1.3.3 上腔静脉硬化伪影评价标准 上腔静脉硬化伪影评价分为 2 级^[8]:0 级为上腔静脉周围无明显硬化伪影;1 级为上腔静脉周围可见明显的硬化伪影。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 20.0 统计分析软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间数据采用单因素方差分析,组间存在差异时采用 SNK-*q* 检验进行两两比较;计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验; $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。一致性检验采用 Kappa 检验。

2 结果

2.1 各组对比剂及生理盐水用量的比较

对照组和固定用量组生理盐水用量为 50 mL,对比剂用量为 35 mL;数学模型组生理盐水用量为 $(28.78 \pm 4.39) \text{ mL}$,对比剂用量为 $(22.59 \pm 3.05) \text{ mL}$,均显著低于固定用量组和对照组($P < 0.05$)。

2.2 各组血管 CT 值的比较

各组所测肺动脉 CT 值均大于 250 HU,满足诊断要求^[9],且 3 组间差异无统计学意义($P > 0.05$)。上腔静脉 CT 值数学模型组低于固定用量组及对照组($F = 70.67, P < 0.05$),固定用量组和对照组间差异无统计学意义($P > 0.05$;表 1)。

2.3 各组图像质量评分和硬化伪影的比较

采用 Kappa 一致性检验,2 名医师评分具有较好的一致性(Kappa=0.81, $P < 0.01$)。数学模型组、

固定用量组、对照组评分分别为(4.42±0.53)分、(4.18±0.68)分和(3.75±0.57)分;3组间图像质量评分情况差异有统计学意义($P<0.05$),数学模型组和固定用量组评分高于对照组($P<0.05$;表2)。上

腔静脉周围硬化伪影固定用量组和对照组多于数学模型组($P<0.05$;表3)。典型病例图像见图1。

表1 各组肺动脉CT成像血管CT值的比较($n=60$) 单位:HU

分组	肺动脉干	尖段肺动脉	后底段肺动脉	上腔静脉
对照组	422.27±90.33	403.35±108.35	463.65±110.72	803.47±264.25
固定用量组	436.37±93.66	446.29±103.63	423.78±102.85	786.76±218.79
数学模型组	404.41±78.74	428.15±92.53	435.55±93.53	375.62±158.14 ^a

注:a为 $P<0.05$,与对照组和固定用量组比较。

表2 各组图像质量评分情况的比较($n=60$) 单位:例(%)

分组	5分	4分	3分	2分	1分
对照组	6(10.0)	35(58.3)	18(30.0)	0	1(1.7)
固定用量组	15(25.0)	38(63.3)	7(11.7)	0	0
数学模型组	20(33.3)	35(58.4)	5(8.3)	0	0

注:三组间比较, $\chi^2=18.63$, $P<0.05$ 。

表4 各组上腔静脉周围硬化伪影分级的比较($n=60$) 单位:例(%)

分组	0级	1级
对照组	6(10.0)	54(90.0)
固定用量组	17(28.3)	43(71.7)
数学模型组	36(60.0)	24(40.0)

注:三组间比较, $\chi^2=34.85$, $P<0.05$ 。

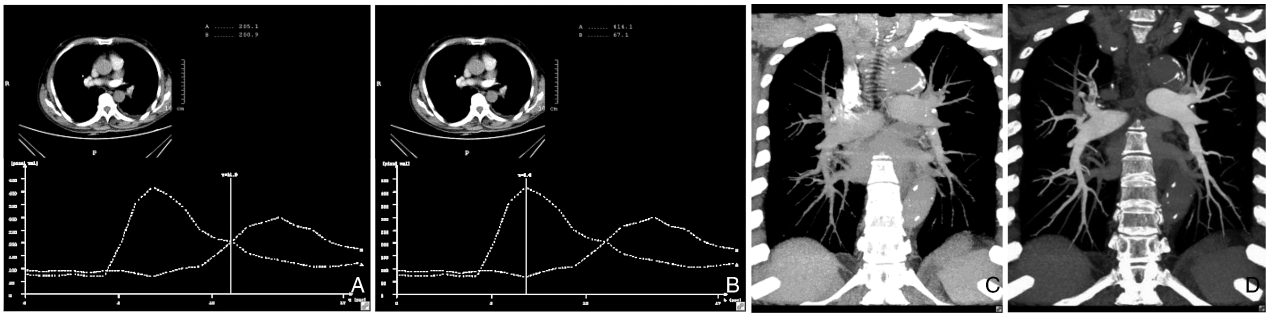


图1 精准数学模型对肺动脉CT图像质量的影响

患者男性,84岁,A及B为肺动脉与肺静脉时间-密度曲线,肺动脉与肺静脉交叉点时间为11s(A),肺动脉达峰时间为6.8s(B),两者相差4.2s;C以肺动脉达峰时间+2s为扫描延迟时间,肺动脉主干及分支对比剂含量不够,无法诊断;D为数学模型方法,以肺动脉与肺静脉交叉点时间为扫描延迟时间,肺动脉各级血管对比剂充盈均匀,且右上肺动脉内有血栓形成。

3 讨论

由于肺循环血流快,血流从肺动脉到达肺静脉的循环时间仅2~4s,肺动脉与肺静脉强化峰值的大小和出现时间比较接近,这就要求扫描延迟时间要非常准确。扫描延迟时间因个体差异而变化,可能受年龄、心率、心功能、对比剂剂量和注射速率的影响。小剂量测试法肺动脉CT成像的优点不言而喻,它以精准的延迟时间避免了绝大多数的个体差异,从而获得高质量的图像,被临床广泛采用^[5,10],其相对于经验法和对比剂示踪法而言,有着无法取

代的优势。

当对比剂从静脉注入人体后,对比剂含量在肺动脉血液中会迅速上升达到峰值,然后迅速下降,接着缓慢下降,肺静脉亦然。若肺动脉对比剂含量下降越快,肺静脉含量上升越快,说明肺循环越快,这时肺动、静脉交叉点时间与肺动脉达峰时间的差值越小;相反肺动脉含量下降越慢,肺静脉含量上升越慢,说明肺循环越慢,这时肺动、静脉交叉点时间与肺动脉达峰时间的差值越大。当肺循环较快时,需稍提前扫描以防止肺静脉对比剂含量过高干扰肺动脉观察;当肺循环较慢时,需稍延迟扫描使

肺动脉分支血管内对比剂充盈均匀。本研究中数学模型组和固定用量组以肺动、静脉交叉点时间为扫描延迟时间,肺动、静脉交叉点时间与肺动脉达峰时间差值与对照组以 2 s 为扫描延迟时间差别不大,因此 3 组肺动脉 CT 值差异无统计学意义。但图像质量评分数学模型组和固定用量组明显高于对照组,且对照组有 1 例患者评分为 1 分,需重做,其原因为扫描延迟时间过早;后以肺动、静脉交叉点时间为扫描延迟时间,图像质量得到明显改善。因此,以肺动、静脉交叉点时间为扫描延迟时间更为准确,尤其对于肺循环较慢者。

肺动脉的强化程度取决于注射速度及对比剂含量^[11]。在注射速度及对比剂含量保持不变的情况下,生理盐水冲洗技术对减少对比剂用量和提高图像质量具有重要作用^[12]。其意义在于既保持了对比剂的速率,在扫描时间内维持肺动脉的峰值,降低对比剂用量;同时减少上腔静脉硬化伪影,提高图像质量。本研究中数学模型组生理盐水用量与 Saade 等^[6]使用的最佳生理盐水冲洗量 30 mL 相近。根据数学模型扫描延迟时间加上扫描时间等于对比剂及生理盐水的注射时间,即扫描结束时对比剂和生理盐水同时注射完毕,此时肘前静脉至肺动脉主干内应均为生理盐水。因此该数学模型在保证肺动脉对比剂含量的同时,减少了上腔静脉硬化伪影。

本研究样本量较少,特别是肺循环较快或较慢的样本少,生理盐水的计算公式未考虑静脉管径的变化及心功能对体积的影响。

综上所述,以肺动脉与肺静脉交叉点时间为扫描延迟时间,该数学模型在 CTPA 中的应用是可行的且减少了对比剂及生理盐水用量,提高了图像质量,值得推广。

[参考文献]

- [1] 谢晓洁, 邓亚敏, 韩丹, 等. 双能量 CT 肺动脉造影中 Lung Vessels 软件诊断肺动脉栓塞[J]. 中国医学影像技术, 2014, 30(12): 1827-1830.
- [2] 夏巍, 尹肖睿, 吴晶涛, 等. 多层螺旋 CT 低对比剂量肺动脉造影的可行性研究[J]. 临床放射学杂志, 2014, 33(2): 289-292.
- [3] 顾庆春, 薛春华, 李健, 等. 多层螺旋 CT 肺动脉成像中对对比剂剂量使用固定值的可行性研究[J]. 临床放射学杂志, 2016, 35(2): 293-296.
- [4] 顾庆春, 杨波, 吕传国, 等. 超小剂量对比剂团注测试进行肺动脉 CT 成像的可行性研究[J]. 医学影像学杂志, 2019, 29(5): 753-756.
- [5] 窦瑞雨, 张丽君, 李想, 等. 个体化注射对比剂软件 P3T-PA 在 CT 肺动脉成像中的应用[J]. 中国医学影像技术, 2016, 32(10): 1582-1586.
- [6] SAADE C, BOURNIR, EL-MERHIF, et al. An optimised patient-specific approach to administration of contrast agent for CT pulmonary angiography[J]. Eur Radiol, 2013, 23(11): 3205-3212.
- [7] 崔兴宇, 方向明, 蔡崧, 等. 单次对比增强双源 CT 双能量肺灌注成像对比剂注射方案的优化[J]. 实用放射学杂志, 2013, 29(9): 1496-1499.
- [8] 乔红艳, 王锡明, 程召平, 等. 双源 CT Flash 模式肺动脉成像技术中对对比剂应用的优化方案研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2014, 22(8): 594-597.
- [9] ROGGENLAN D, PETERS SO, LEMBURG ST, et al. CT angiography in suspected pulmonary embolism: impact of patient characteristics and different venous lines on vessel enhancement and image quality[J]. AJR, 2008, 190(6): 351-359.
- [10] 张文明, 陈彬, 胡吉波, 等. 比较团注对比剂跟踪技术和小剂量团注测试技术在双能量 CT 肺灌注扫描中的应用[J]. 中华放射学杂志, 2013, 47(10): 892-897.
- [11] 孙潇, 孔祥凌, 郭笑寒, 等. 高低浓度对比剂不同注射速度的 CT 肺动脉造影图像质量分析[J]. 中国医学影像学杂志, 2016, 24(12): 943-947.
- [12] 耿才正, 刘春娥, 陆军媛, 等. 碘对比剂与生理盐水的混合灌装方法及其混合效果[J]. 中国医学影像技术, 2011, 27(1): 199-201.

(此文编辑 朱雯霞)