

• 腹部影像学 •

70 kV 结合正弦图迭代重建在腹部 CTA 扫描中的应用价值

张琳琳, 于凤凯, 赵红军, 张瑞, 苏炜

【摘要】 目的:探讨 70 kV 结合正弦图迭代重建(SAFIRE)技术在腹部 CTA 扫描中的应用价值。**方法:**110 例患者(低 kV 组)采用 70 kV、SAFIRE 技术、欧乃派克(300 mg I/mL)的 CTA 扫描方案,87 例患者(对照组)采用 120 kV、滤波反投影(FBP)技术、欧乃派克(350 mg I/mL)的扫描方案。对比两组的 CT 剂量指数($CTDI_{vol}$)、CT 值、SD、对比噪声比(CNR)、图像灵敏度(FOM)、图像质量主观评分。**结果:**低 kV 组和对照组的 $CTDI_{vol}$ 分别为 (3.08 ± 0.15) mGy、 (6.08 ± 0.57) mGy,两组差异有统计学意义($P < 0.05$);低 kV 组腹主动脉、肾动脉、肠系膜上动脉的 CT 值分别为 (431.45 ± 27.42) HU、 (415.44 ± 16.51) HU、 (311.85 ± 17.75) HU,对照组分别为 (334.91 ± 14.41) HU、 (335.51 ± 13.76) HU、 (312.63 ± 18.59) HU;低 kV 组腹主动脉、肾动脉、肠系膜上动脉的 SD 分别为 (15.96 ± 1.75) 、 (18.63 ± 3.01) 、 (26.99 ± 2.65) ,对照组分别为 (23.21 ± 2.91) 、 (25.34 ± 2.67) 、 (29.8 ± 3.04) ,两组差异均具有统计学意义($P < 0.05$);低 kV 组腹主动脉、肾动脉、肠系膜上动脉的 CNR 分别为 (26.58 ± 2.93) 、 (25.77 ± 2.52) 、 (20.31 ± 1.74) ,对照组分别为 (20.79 ± 1.87) 、 (20.82 ± 1.92) 、 (19.98 ± 1.63) ;低 kV 组腹主动脉、肾动脉、肠系膜上动脉的 FOM 分别为 (233.32 ± 55.35) 、 (218.46 ± 45.44) 、 (135.51 ± 24.74) ,对照组分别为 (72.34 ± 15.45) 、 (72.57 ± 15.62) 、 (66.71 ± 12.86) ,两组差异均具有统计学意义($P < 0.05$);低 kV 组的图像质量评分为 (4.56 ± 0.65) ,对照组为 (4.55 ± 0.73) ,两组差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论:**70 kV 结合 SAFIRE 技术在腹部 CTA 扫描中,不仅可以大幅度降低辐射剂量,而且改善了腹部 CTA 的图像质量,减少了碘对比剂的相对含量,具有较高的临床应用价值。

【关键词】 正弦图迭代重建;滤波反投影;CT 血管成像;辐射剂量

【中图分类号】 R814.42; R814.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)09-0870-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.09.017

The application value of 70kV in combination with SAFIRE technique in abdominal CT angiography ZHANG Lin-lin, YU Feng-kai, ZHAO Hong-jun, et al. Department of Radiology, the Third People's Hospital of Dalian, Dalian 116033, China

【Abstract】 Objective: To investigate the application value of 70kV in combination with Sinogram affirmed iterative reconstruction-(SAFIRE) technique in abdominal CT angiography (CTA). **Methods:** Totally 110 patients (low kv group) had abdominal CTA using 70kV, SAFIRE technique with Omnipaque (300mg I/mL) as contrast medium, and 87 patients as the control group had abdominal CTA using 120kV, filtered back projection (FBP) technique and Omnipaque (350mg I/mL) as contrast medium. The $CTDI_{vol}$, CT value, SD, CNR, FOM and image quality score were compared between the two groups. **Results:** The $CTDI_{vol}$ of the Low-kV group and the control group was (3.08 ± 0.15) mGy and (6.08 ± 0.57) mGy respectively, with significant statistic difference ($P < 0.05$). The CT value of abdominal aorta, renal artery and mesenteric artery in the Low-kV group was (431.45 ± 27.42) HU, (415.44 ± 16.51) HU, (311.85 ± 17.75) HU respectively, in the control group was (334.91 ± 14.41) HU, (335.51 ± 13.76) HU, (312.63 ± 18.59) HU respectively; the SD of abdominal aorta, renal artery and mesenteric artery in the Low-kV group was (15.96 ± 1.75) , (18.63 ± 3.01) , (26.99 ± 2.65) respectively, in the control group was (23.21 ± 2.91) , (25.34 ± 2.67) , (29.8 ± 3.04) respectively; with significant statistic difference ($P < 0.05$). The CNR of abdominal aorta abdominalis, renal artery and mesenteric artery in the Low-kV group was (26.58 ± 2.93) , (25.77 ± 2.52) , (20.31 ± 1.74) respectively, in the control group was (20.79 ± 1.87) , (20.82 ± 1.92) , (19.98 ± 1.63) respectively; the FOM of abdominal aorta, renal artery and mesenteric artery in the Low-kV group was (233.32 ± 55.35) , (218.46 ± 45.44) , (135.51 ± 24.74) respectively, in the control group was (72.34 ± 15.45) , (72.57 ± 15.62) , (66.71 ± 12.86) respectively; with significant statistic difference ($P < 0.05$). The image quality score of the Low-kV group and the control group was (4.56 ± 0.65) , (4.55 ± 0.73) respectively, with no statistic difference ($P > 0.05$). **Conclusion:** Using 70kV in combination with SAFIRE technique for abdominal CTA, not only can reduce the radiation dosage obviously, but also can improve the image quality as well as reduce the iodine content in contrast medium which showed significant value in clinical practice.

【Key words】 Sinogram affirmed iterative reconstruction; Filtered Back Projection; Computed tomography angiography; Radiation dose

作者单位:116033 大连,大连市第三人民医院放射科

作者简介:张琳琳(1981—),女,黑龙江大庆人,硕士,主治医师,主要从事 CT、MRI 影像诊断工作。

通讯作者:于凤凯, E-mail: yufengkai19730424@163.com

随着 MSCT 技术的不断发展,无创、低风险、影像信息丰富的 CT 血管成像(computed tomography an-

giography,CTA)已广泛应用于临床^[1]。但为了保证 CTA 的图像质量,往往要求大范围扫描、高辐射剂量以及高浓度的碘对比剂团注,由此引发的辐射剂量问题和碘对比剂相关肾病(contrast media induced nephropathy,CIN)越来越受到业界的重视^[2,3]。低管电压可以有效降低辐射剂量,并且提高含碘血管与周围组织结构的对比。正弦图迭代重建(sinogram affirmed iterative reconstruction,SAFIRE)是基于原始数据的一种迭代算法,能有效改善图像质量,与滤波反投影(filtered back projection,FBP)算法相比可以在大幅度降低辐射剂量的同时保证图像质量^[4]。

本研究采用 SAFIRE 技术结合低管电压(70 kV)的扫描模式,旨在探讨其降低辐射剂量、降低对比剂浓度、降噪的综合效果和应用前景,以寻求符合最优化辐射剂量及碘对比剂含量原则的腹部 CTA 扫描方案。

材料与方法

1. 病例资料

前瞻性选取本院 2014 年 9 月—2015 年 4 月行腹部 CTA 扫描的患者 110 例,其中男 62 例,女 48 例,年龄 18~86 岁,采用浓度为 300 mg I/mL 的碘对比剂、SAFIRE 技术、70 kV 低管电压(低 kV 组)。选取 2014 年 1 月—2014 年 9 月行腹部 CTA 扫描的患者 87 例,其中男 44 例,女 43 例,年龄 24~82 岁,采用浓度为 350 mg I/mL 的碘对比剂、FBP 技术、120 kV 管电压(对照组)。所有入组患者体质指数(body mass index,BMI)均 $\leq 26\text{ kg/m}^2$,且两组间体质指数差异无统计学意义($P=0.775$),均自愿签署知情同意书。

2. 检查方法

CTA 检查采用 Siemens Definition AS 128 CT 机,检查前禁食、水 6 h,扫描范围从膈顶至耻骨联合下缘,经肘静脉注射对比剂,流率 4 mL/s,两组用量均为 100 mL,智能追踪监测扫描,阈值 100 HU,监测位置为膈肌水平腹主动脉。低 kV 组对比剂为欧乃派克,碘总量为 30 g(碘总量=100 mL $\times$ 300 mg I/mL),管电压 70 kV,SAFIRE(强度 3)。对照组对比剂为欧乃派克,碘总量为 35 g(碘总量=100 mL $\times$ 350 mg I/mL),管电压 120 kV。两组其它扫描参数均一致:实时动态曝光剂量调节 CARE DOSE 4D,准直 32 $\times$ 1.2 mm,转速 0.5 s/r,螺距 0.6,层厚 1 mm,重建间距 0.7 mm,卷积核 B30f。

3. 数据分析

由两位分别有 5 年和 7 年影像诊断经验的医师,在不知具体分组的情况下,对图像进行评估,包括客观评价和主观评分。

客观评价:测量腹主动脉、肾动脉、肠系膜上动脉

和腹壁脂肪的 SD 值、CT 值并计算对比噪声比(contrast-to-noise ratio,CNR)、图像灵敏度(figure of merit,FOM),均以脂肪为背景,对比两组的 CT 剂量指数(CT dose index,CTDI_{vol})。测量 CT 值、SD 时,将兴趣区(region of interest,ROI)复制应用,测量血管时 ROI 面积为血管截面的 2/3,测量腹壁脂肪时 ROI 面积为 20 mm²。腹主动脉和腹壁脂肪测量层面在膈肌水平,肾动脉测量层面在右侧肾门水平,肠系膜上动脉测量层面在腹主动脉发出肠系膜上动脉的起始部水平,每个数据测量 3 次然后计算平均值。 $CNR=(\text{血管 CT 均值}-\text{脂肪 CT 均值})/\text{脂肪 SD 均值}$, $FOM=CNR^2/CTDI_{vol}$ 。

主观评分:隐藏图像信息,由两位观察者采用双盲法对两组血管图像进行评分(窗位 40 HU、窗宽 400 HU)。采用 5 分法评价图像:1 分,图像质量较差,细节显示不清,不能获得有用信息;2 分,图像质量欠佳,部分解剖结构不能清晰显示;3 分,图像质量中等,内部细节显示欠佳,通过仔细观察能清楚做出诊断;4 分,图像质量较好,内部细节显示较好,具有较高诊断价值;5 分,图像质量优秀,细节显示好,具有很高的诊断价值。 ≥ 3 分认为图像符合诊断需求。

4. 统计学分析

采用 SPSS 17.0 软件进行统计学分析,采用独立样本 t 检验对比两组的 CTDI_{vol}、CT 值、SD、CNR、FOM、图像质量主观评分,两样本方差不齐时,采用校正 t 检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。两位观察者的一致性评估采用 Kappa 检验。Kappa 值 >0.75 为一致性好;Kappa 值在 0.40~0.75 之间为一致性一般;Kappa 值 <0.40 为一致性差。

结 果

1. 辐射剂量

低 kV 组和对照组的 CTDI_{vol} 分别为(3.08 $\pm$ 0.15) mGy、(6.08 $\pm$ 0.57) mGy,低 kV 组较对照组 CTDI_{vol}降低了 49.34%,差异具有统计学意义($t'=-47.688,P=0.00$)。

2. CT 值

低 kV 组腹主动脉、肾动脉 CT 值均高于对照组,CT 值分别提升 28.83%、23.82%,差异具有统计学意义($P<0.05$);两组肠系膜上动脉 CT 值相近,差异不具有统计学意义($P>0.05$,表 1)。

表 1 低 kV 组和对照组 CT 值比较 (HU)

部位	低 kV 组	对照组	t 值	P 值
腹主动脉	431.45 $\pm$ 27.42	334.91 $\pm$ 14.41	31.794	0
肾动脉	415.44 $\pm$ 16.51	335.51 $\pm$ 13.76	36.286	0
肠系膜上动脉	311.85 $\pm$ 17.75	312.63 $\pm$ 18.58	-0.3	0.764

3. SD 值

低 kV 组各血管 SD 值较对照组均有明显下降, SD 分别降低 31.24%、26.48%、9.43%, 差异均有统计学意义(P 值均 <0.05 , 表 2)。

表 2 低 kV 组和对照组 SD 值比较 (HU)

部位	低 kV 组	对照组	t 值	P 值
腹主动脉	15.96 $\pm$ 1.75	23.21 $\pm$ 2.91	-20.473	0
肾动脉	18.63 $\pm$ 3.01	25.34 $\pm$ 2.67	-16.318	0
肠系膜上动脉	26.99 $\pm$ 2.65	29.8 $\pm$ 3.04	-6.928	0

4. CNR

低 kV 组腹主动脉、肾动脉 CNR 均高于对照组, CNR 分别提升了 27.85%、23.78%, 差异具有统计学意义($P<0.05$); 两组肠系膜上动脉 CNR 值相近, 差异不具有统计学意义($P>0.05$, 表 3)。

表 3 低 kV 组和对照组 CNR 比较

部位	低 kV 组	对照组	t 值	P 值
腹主动脉	26.58 $\pm$ 2.93	20.79 $\pm$ 1.87	16.866	0
肾动脉	25.77 $\pm$ 2.52	20.82 $\pm$ 1.92	15.16	0
肠系膜上动脉	20.31 $\pm$ 1.74	19.98 $\pm$ 1.63	1.388	0.167

5. FOM

低 kV 组各血管 FOM 较对照组均有明显提升, FOM 分别提升了 222.55%、201.03%、103.13%, 差异具有统计学意义(P 值均 <0.05 , 表 4)。

表 4 低 kV 组和对照组 FOM 比较

部位	低 kV 组	对照组	t' 值	P 值
腹主动脉	233.33 $\pm$ 55.35	72.34 $\pm$ 15.45	29.105	0
肾动脉	218.46 $\pm$ 45.44	72.57 $\pm$ 15.62	31.408	0
肠系膜上动脉	135.51 $\pm$ 24.74	66.71 $\pm$ 12.86	25.181	0

6. 图像质量评分

低 kV 组和对照组的腹部血管分支显示清晰, 血管边缘锐利, 满足诊断要求(图 1)。低 kV 组的图像质

表 5 两位观察者一致性检验

组别	观察者 1					观察者 2					Kappa 值
	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	
低 kV 组	0	0	10	28	72	0	0	10	29	71	0.909
对照组	0	0	13	15	59	0	0	12	14	61	0.879

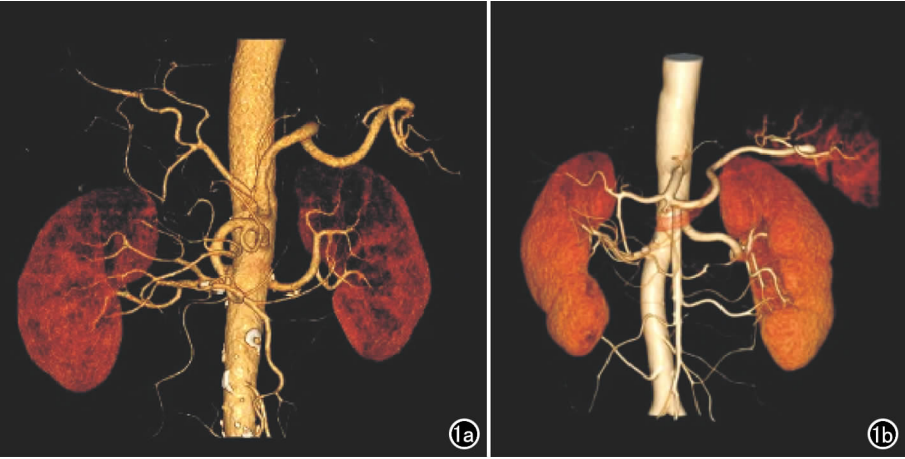


图 1 低 kV 组和对照组 VR 重建图像。a) 低 kV 组 VR 重建图像; b) 对照组 VR 重建图像。

量评分为(4.56 $\pm$ 0.64), 对照组为(4.55 $\pm$ 0.73), 两组差异无统计学差异($t=0.134$, $P=0.894$)。两位观察者的一致性良好(Kappa 值均 >0.75 , 表 5)。

讨 论

1. 辐射剂量

CT 检查是一种高辐射剂量的 X 线检查技术^[5]。即使是低剂量的医用辐射也会对受检者的健康造成严重威胁, 增加相关疾病的发病率, 而发病风险会随着所接受的辐射剂量的增大而增加^[6]。影响 CT 辐射剂量的因素有很多, 如管电流、管电压、螺距、层厚、重建算法等。相对于其他方法, 降低管电压可以更大幅度地降低辐射剂量, 因为辐射剂量与管电压的平方成正比^[7]。Definition 平台推出的 70 kV 扫描方案, 使用新的信号处理技术, 提高了低管电压下的信号灵敏度, 并在球管增加了新的滤过用以纯化 70 kV 管电压下的光子输出, 使得微剂量高分辨力扫描成为了可能, 也是业界为数不多的 70 kV 使用系统。本研究中低 kV 组 CTDI_{vol} 较对照组降低了 49.34%, 而图像质量评分没有统计学差异($P>0.05$), 也充分证明了其降低辐射剂量的潜力。

2. 对比剂相对含量

为了保证腹部 CTA 的检查效果, 往往要求高浓度或大剂量的碘对比剂团注, 而同时 CIN 越来越被重视, 其发病率已居医源性肾病的第 3 位^[8], 2006 国际 CIN 工作组指出, 对比剂的使用没有安全剂量之说, 即使很少的用量也可能诱发 CIN^[9]。也有研究指出, 减少碘对比剂的用量或浓度, 是降低 CIN 发病率的有效措施^[10]。X 线照射人体后与人体组织发生光电效应和康普顿散射效应, 管电压降低, 随之 X 线光子能量降低, 更接近含有高原子序数元素的组织与结构(如骨、钙化、含碘剂的组织或血管), 此时光电效应增强, 血管内的 CT 值升高, 增加了血管与周围组织结构的对比^[11]。所以降低管电压的方法更适用于 CT 血管成像, 既可以降低辐射剂量, 又可以减少对比剂的用量、浓度、流率。本研究中低 kV 组采用浓度为 300 mg I/mL 的欧乃派克, 由于 70 kV 技术的应用尤其提高了腹部血管的 CNR, 所以取得了比对照组(浓度为 350 mg I/mL 的欧乃派克、常规管电压)更好的 CTA 图像效果, 并降低了碘总量(低 kV 组 30 gI, 对

照组 35 gI),降低了 CIN 的发病风险。

3. SAFIRE 对图像质量的改善

管电压的降低,必然会导致图像噪声的增加,从而影响图像质量,这是因为 FBP 无法消除由光子涨落所产生的量子噪声,而且会把来自各个方向上的散射线当作正常的穿透人体的射线来计算,结果增加了像素噪声^[12]。SAFIRE 算法在迭代重建中引入了原始数据域,它是基于原始数据空间的迭代来消除图像伪影和噪声,再进行图像空间的迭代重建来进一步降低图像噪声。与 FBP 相比,基于原始数据空间的 SAFIRE 算法可以得到更高质量的图像^[13]。但是,SAFIRE 庞大的数据量也延长了图像重建的时间,在这一点上 SAFIRE 并不优于 FBP;而且 SAFIRE 低噪的图像对于习惯于 FBP 的放射科医生来说可能比较陌生,并似乎有降低诊断质量的假象,需要足够时间来适应。SAFIRE 共有 5 个不同强度等级(Strength1~5),代表不同的滤过强度,级数越高,滤过强度越大,噪声越小,图像越细腻。有关研究发现,在相同扫描条件下 Strength3 获得的分辨力与 FBP 一致,而噪声明显降低^[14],所以本研究选用 Strength3。本研究中,低 kV 组各血管 SD 较对照组均有明显下降,腹主动脉、肾动脉、肠系膜上动脉分别降低了 31.24%、26.48%、9.43%;低 kV 组腹主动脉、肾动脉 CNR 值均高于对照组,分别提升了 27.85%、23.78%;低 kV 组各血管 FOM 较对照组均有明显提升,腹主动脉、肾动脉、肠系膜上动脉分别提升了 222.55%、201.03%、103.13%;低 kV 组的图像质量评分为(4.56±0.64),对照组为(4.55±0.73),两组差异无统计学意义($P>0.05$)。

本研究的不足之处:①没有对 BMI>26 kg/m² 的患者进行研究;②只降低了对比剂的浓度,没有对降低对比剂的用量进行研究;③只考虑了 Strength3 强度,其他强度未做比较,有待进一步研究。

综上所述,70 kV 结合 SAFIRE 技术在腹部 CTA 扫描中不仅可以大幅度降低辐射剂量,而且改善了图

像质量,减少了对比剂的相对含量,具有很高的临床应用价值。

参考文献:

- [1] 浦仁旺,李志勇,刘义军. 中小体质指数患者腹部 CT 血管成像双低扫描方案优化[J]. CT 理论与应用研究,2015,24(2):153-159.
- [2] 孟俊非,范森. 重视 CT 低剂量研究[J]. 中华放射学杂志,2009,43(3):679-680.
- [3] 张龙江,祁吉. 对比剂肾病:一个值得关注的问题[J]. 中华放射学杂志,2007,41(8):882-884.
- [4] 石明国. CT 技术发展进入低剂量成像时代[J]. 中国医疗设备,2012,27(1):39-42.
- [5] 李玮,刘建新,王霄英. 低电压、低对比剂剂量头颈 CTA 的可行性研究[J]. 放射学实践,2013,28(5):482-485.
- [6] Slovis TL. CT and computed radiography: the pictures are great, but is the radiation dose greater than required[J]. Am J Roentgenology,2002,179(1):39-41.
- [7] Huda W,Scalzetti EM,Levin G,et al. Technique factors and image quality as functions of patient weight at abdominal CT[J]. Radiology,2000,217(2):430-435.
- [8] Schweiger MJ,Chambers CE,Davidson CJ,et al. Prevention of contrast induced nephropathy: recommendations for the high risk-patient undergoing cardiovascular or procedures[J]. Catheter Cardiovasc Interv,2007,69(1):135-140.
- [9] Toprak O,Cirit M. Risk factors and therapy strategies for contrast induced nephropathy[J]. Ren Fail,2006,28(5):365-381.
- [10] 姬妮娜,高剑波,田辉英. 能谱成像最佳对比噪声比技术对胃周动脉成像质量的影响[J]. 放射学实践,2013,28(1):51-54.
- [11] Dill T,Deetjen A,Ekinici O,et al. Radiation dose exposure in multislice computed tomography: the coronaries in comparison with conventional coro[J]. Int J Cardiol,2008,124(3):307-311.
- [12] 浦仁旺,刘义军,刘静红. 低管电压结合 ASIR 重建对腹部 CT 图像质量的影响:体模研究[J]. 实用放射学,2015,31(2):296-299.
- [13] Han BK,Grant KL,Garberich R,et al. Assessment of an iterative reconstruction algorithm (SAFIRE) on image quality in pediatric cardiac CT datasets[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr,2012,6(3):200-204.
- [14] 胡秀华. 迭代重建技术在低剂量 CT 检查中的应用和图像质量评价[D]. 浙江:浙江大学,2012.

(收稿日期:2015-08-21 修回日期:2016-03-21)