

## 论 著

## 滤波反投影法下超低剂量64层螺旋CT冠状动脉造影的初步经验

1. 内蒙古医科大学附属医院影像诊断科(内蒙古 呼和浩特 010050)

2. 内蒙古医科大学基础医学院(内蒙古 呼和浩特 010059)

赵磊<sup>1</sup> 郝粉娥<sup>1</sup> 包丽丽<sup>2</sup>  
刘挨师<sup>1</sup>

**【摘要】目的** 本研究通过评价低辐射剂量与低对比剂剂量下的前门控CT冠脉造影图像质量与辐射剂量,明确该项扫描-注射技术的有效性。**方法** 本研究共连续选取31例病人,心率(heart rate, HR) < 75次/min、心率变异度(heart rate variability, HRv) < 5次/min、体质量指数(body mass index, BMI) ≤ 26Kg/m<sup>2</sup>、体质量(body mass, BM) ≤ 65Kg。BM ≤ 55Kg采用2.5ml/s流率, 55Kg < BM < 60Kg采用3.0ml/s流率, BM ≥ 60Kg采用3.5ml/s流率, BMI ≤ 22Kg/m<sup>2</sup>管电压80kV,管电流400mA, 22Kg/m<sup>2</sup> < BMI < 26Kg/m<sup>2</sup>管电压80kV,管电流600mA。评价图像质量、对比剂剂量及辐射剂量。检验水准α=0.05。**结果** 31例病人冠脉节段平均分数为2.62 ± 0.81分,可评估率为98.21%。主动脉根部衰减值为411.26 ± 72.25HU,噪声值为40.19 ± 9.77HU, SNR为10.58 ± 2.21, CNR为13.52 ± 2.79。有效剂量为1.28 ± 0.39mSv,对比剂剂量为32.26 ± 3.83ml。**结论** 对于低体质量及低体质量指数病人,通过降低管电压、降低对比剂剂量行CTCA扫描可以在获得可评估图像质量的同时大幅减低辐射剂量与对比剂剂量。

**【关键词】** 体层摄影术, X线计算机; 冠状动脉; 辐射剂量; 对比剂**【中图分类号】** R541.4**【文献标识码】** A**DOI:** 10.3969/j.issn.1672-5131.2016.03.017

通讯作者: 赵磊

## Ultra-Low Dose CTCA using 64-slice CT with Filtered Back Projection: Initial Experience

ZHAO Lei, HAO Fen-e, BAO Li-li, et al., Department of Radiology, The Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010050, China

**[Abstract] Objective** To evaluate the value of low voltage CTCA in low body mass and low body mass index patients with low contrast media dose and radiation dose. **Methods** 31 patients (BM < 65kg and body mass index < 26kg/m<sup>2</sup>) were enrolled. All of patients with tube voltage and tube current tailored to BMI (BMI ≤ 22Kg/m<sup>2</sup>: tube voltage 80kV, tube current 400mA, 22Kg/m<sup>2</sup> < BMI < 26Kg/m<sup>2</sup>: tube voltage 80kV, tube current 400mA), the flow rate and volume of contrast media tailored to BM (BM ≤ 55Kg: 2.5ml/s and 25ml, 55Kg < BM < 60Kg: 3.0ml/s and 30ml, BM ≥ 60Kg: 3.5ml/s and 35ml). Patients were evaluated by image quality (each coronary artery scale, attenuation, noise, SNR and CNR), contrast media dose and radiation dose. P value below 0.05 was considered to be statistically significant. **Results** All patients successfully underwent low dose CTCA. The mean image quality score was 2.62 ± 0.81. The percentage of assessable coronary artery segments was 98.21%. The mean attenuation was 411.26 ± 72.25HU. The mean noise was 40.19 ± 9.77HU. The mean SNR was 10.58 ± 2.21. The mean CNR was 13.52 ± 2.79HU. The mean effective dose was 1.28 ± 0.39mSv. The mean contrast media dose was 32.26 ± 3.83ml. **Conclusions** Low dose CTCA may decrease the contrast media dose and radiation dose and keep image quality in patients with low body mass and body mass index.

**[Key words]** Tomography, X-ray Computed; Coronary Artery; Radiation Dose; Contrast Media

自从64层螺旋CT投入临床实践, CT冠脉造影(CT coronary angiography, CTCA)获得了长足的进步。同侵入性冠脉造影相比, CT冠脉造影具有极高的阴性预测值与灵敏度, 判断梗阻性狭窄的诊断准确性达到90%左右, 且具有卫生经济学优势, 广泛应用于在可疑冠状动脉粥样硬化性心脏病的筛查与随访<sup>[1]</sup>。然而常规CT冠脉造影辐射剂量与对比剂剂量较高, 前者可影响罹患癌症的风险, 后者可影响对比剂肾病(Contrast Induced Nephropathy, CIN)的发生率。因此, 降低辐射剂量与对比剂剂量可以增加心血管影像筛查与随访的安全性。本研究通过评价低辐射剂量与低对比剂剂量下的前门控CT冠脉造影图像质量与辐射剂量, 明确该项扫描-注射技术的有效性。

## 1 资料与方法

**1.1 病人准备** 搜集2014年3月~2014年8月拟诊或确诊冠状动脉粥样硬化性心脏病病人31例, 中位年龄56岁(范围: 40岁~75岁), 其中男性22例, 女性9例。纳入标准: 签署知情同意书、心率(heart rate, HR) < 75次/min、心率变异度(heart rate variability, HRv) < 5次/min、体质量指数(body mass index, BMI) ≤ 26Kg/m<sup>2</sup>、体质量(body mass, BM) ≤ 65Kg。排除标准: 心肾功能不全、屏气不佳。所选病人均接受特殊设计的前瞻性心电门控CTCA扫描序列进行检查。

## 1.2 方法

1.2.1 设备与药品: 64层螺旋CT lightspeed VCT-XT(GE医疗, 美国), 碘普罗胺(370mgI/ml)对比剂(拜耳先灵, 德国), Stellant D双筒高压注射器(美德瑞达, 美国)。

1.2.2 扫描方法: 受检者取仰卧位, 足先进。首先摄定位像。其次进行冠状动脉钙化积分扫描, 扫描结束后记录左心房层面水平位置。CTCA扫描采用手动触发模式, 连续监测层面设置为左心房层面, ROI绘制于左心房内, 待左心房进药后手动触发扫描(延迟时间5s)。嘱患者序列开启扫描后5s屏气。

1.2.3 对比剂注射参数: BM $\leq$ 55Kg采用2.5ml/s流率, 55Kg $<$ BM $<$ 60Kg采用3.0ml/s流率, BM $\geq$ 60Kg采用3.5ml/s流率, 注射10s对比剂剂量, 即25ml、30ml、35ml。

1.2.4 CTCA扫描参数: 机架转速0.35s/圈, 准直器宽度0.625mm $\times$ 64层, 重建层厚0.625mm, 重建层间距0.625mm, 矩阵512 $\times$ 512, 标准算法重建。开启C2后置滤线器。屏气心率 $\leq$ 65次/min时重叠时间设置为50ms, 采集期相为75%, 屏气心率介于65次/min $\sim$ 75次/min时重叠时间设置为200ms, 采集期相设置为60%。BMI $\leq$ 22Kg/m<sup>2</sup>管电压80kV, 管电流400mA, 22Kg/m<sup>2</sup> $<$ BMI $\leq$ 26Kg/m<sup>2</sup>管电压80kV, 管电流600mA。扫描结束后图像质量不满意者进行期相重建, 采集期相为75%时重建70%、80%相位; 采集期相60%时重建40%、45%、70%、75%、80%相位。所有数据传入ADW4.4工作站进行图像后处理。

1.2.5 图像后处理: 曲面重组技术(curved planar reconstruction, CPR)应用于拟要评价的冠状动脉三支, 并结合

每支、每段动脉的横断面图像进行图像质量评价。

1.3 辐射剂量评价 每例病人均通过计算机自动生成的剂量长度乘积(dose length product, DLP)计算有效剂量(Effective Dose, ED), 公式为ED=DLP $\times$ k, 其中k为剂量换算因子, 本研究取值为0.017 mSv/mGy $\cdot$ cm<sup>[2]</sup>。

#### 1.4 图像质量评价

1.4.1 图像质量主观评分: 将冠状动脉分为15段[美国心脏协会(American Heart Association, AHA)分段法]进行评价<sup>[3]</sup>。冠状动脉的图像质量按照运动伪影与颗粒度分为4级: 分别为IV分(无运动伪影, 颗粒度不明显, 评价为优), III分(有轻度运动伪影、颗粒度尚可, 评价为良), II分(较多运动伪影、颗粒度较差但不影响管腔评价, 评价为中), I分(运动伪影严重或颗粒度差严重影响管腔评价, 评价为差)。主观评价通过两位放射医师(分别从事胸部影像学诊断20年和3年)对每例病人的冠脉节段通过上述标准进行评价, 并对两位观察者进行一致性检验,  $k<0.4$ 认为一致性差,  $0.4\leq k<0.75$ 认为一致性中等,  $k\geq 0.75$ 认为一致性好。

1.4.2 图像质量客观评价: 在主动脉根部左冠主干开口层面设置感兴趣区测量平均衰减値及其标准差, 以标准差作为噪声值, 并在相同层面主动脉根部周围脂肪组织设置感兴趣区测量平均衰减値。根据公式[信噪比=平均衰减値/噪声值、对比度噪声比=(血管平均衰减値-周围组织平均衰减値)/噪声值]计算信噪比(Signal-To-Noise Ratio, SNR)与对比度噪声比(Contrast-to-Noise Ratio, CNR)。

1.5 统计学分析 (1)统计描述病人基线资料; (2)统计描述冠脉图像质量主观评分(并对观察者进行Kappa检验)、主动脉根部平均衰减値、噪声值、信噪比及对比度噪声比; (3)采用pearson相关分析体质量指数、体质量与图像质量(噪声值、信噪比、对比噪声比)的关系; 采用spearman相关分析对比剂注射流率与衰减値的关系; 统计方法: 采用SPSS18.0软件包进行统计学分析, 所有计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示, 计数资料采用自然数表示。 $P<0.05$ 认为差异具有统计学意义。

## 2 结果

2.1 病人基线资料 31例病人均顺利完成扫描, 扫描过程中未发生不良事件。病人年龄 $56.58\pm 8.48$ 岁(范围40岁 $\sim$ 75岁), BMI为 $22.41\pm 1.97$ Kg/m<sup>2</sup>(范围17.90 Kg/m<sup>2</sup> $\sim$ 25.37 Kg/m<sup>2</sup>), BM为 $59.32\pm 5.58$ Kg(范围43.00Kg $\sim$ 65.00Kg), BL为 $1.62\pm 0.05$ m(范围1.55m $\sim$ 1.72m)。注射流率为 $3.23\pm 0.38$ ml/s(范围2.5ml/s $\sim$ 3.5ml/s)。扫描长度 $13.44\pm 1.06$ cm(范围11.50cm $\sim$ 14.00cm), 曝光时间 $1.25\pm 0.13$ s(范围1.02s $\sim$ 1.32s)。

#### 2.2 冠状动脉图像质量

2.2.1 主观图像质量: 31例病人共显示390根冠脉节段, 每例病人平均显示12.58根。主观评价冠脉节段图像质量观察者间一致性好( $k=0.770$ ,  $P=0.000$ ), 观察者1评价冠脉节段平均分数为 $2.62\pm 0.81$ 分, 其中4分占14.87%, 3分占22.31%, 2分占42.31%, 1分占1.79%。

2.2.2 客观图像质

量：主动脉根部衰减值为 $411.26 \pm 72.25$  HU (范围 $243.00$  HU $\sim$  $582.00$  HU)，噪声值为 $40.19 \pm 9.77$  HU (范围 $24.00$  HU $\sim$  $67.00$  HU)，SNR为 $10.58 \pm 2.21$  (范围 $6.48 \pm 15.25$ )，CNR为 $13.52 \pm 2.79$  (范围 $8.38 \sim 21.46$ ) (图1-12)。主动脉根部衰减 $200$  HU $\sim$  $300$  HU之间占 $3.22\%$  ( $1/31$ )， $300$  HU $\sim$  $400$  HU之间占 $51.61\%$  ( $16/31$ )， $400$  HU $\sim$  $500$  HU之间占 $45.16\%$  ( $14/31$ ) (图13)。

### 2.3 CTCA辐射剂量与对比剂剂量

DLP为 $75.04 \pm 23.02$  mGy $\cdot$ cm (范围 $43.52$  mGy $\cdot$ cm $\sim$  $164.84$  mGy $\cdot$ cm)，ED为 $1.28 \pm 0.39$  mSv (范围 $0.74$  mSv $\sim$  $2.80$  mSv)；对比剂剂量为 $32.26 \pm 3.83$  ml (范围 $25.00$  ml $\sim$  $35.00$  ml)。

### 2.4 体质量指数、体质量与图像质量(噪声值、SNR与CNR)相关性

经pearson相关分析，体质量指数与噪声值无相关( $r=0.201$ ,  $P=0.279$ )，体质量与噪声值无相关( $r=0.102$ ,  $P=0.586$ )，体质量指数与SNR、CNR均无相关( $r=-0.055$ ,  $P=0.769$ ;  $r=-0.092$ ,  $P=0.621$ )，体质量与SNR、CNR均无相关( $r=-0.099$ ,  $P=0.595$ ;  $r=0.102$ ,  $P=0.584$ )。

### 2.5 注射流率与衰减值相关性

经spearman相关分析，注射流率与衰减值无相关( $r=0.150$ ,  $P=0.420$ )。

## 3 讨 论

CIN是一项重要的心血管介入术后不良事件。CIN的定义为给予对比剂48-72h后较血清肌酐浓度较基线水平绝对值升高 $\geq 0.5$  mg/dl或相对升高 $\geq 25\%$ 。

CIN是医院获得性急性肾衰竭的第三位因素。正常人群的CIN发生率为 $>2\%$ ，但是在高危人群，诸如糖尿病病人、充血性心力衰竭史、慢性肾损伤、老龄等CIN发生率可达 $20\% \sim 30\%$ 。世界每年大约有150,000人发生CIN，其中至少1%的病人需要透析或延长住院日<sup>[4-6]</sup>。多项研究证实静脉充足水化是预防CIN的有效方法。水化作用廉价、有效且安全性高，便于投入临床实践。而最大限度的减低对比剂剂量与给药频率更具有实际意义<sup>[7]</sup>。

目前通过低剂量碘试剂行CTA检查的研究多为迭代算法降噪以提高图像质量<sup>[8-9]</sup>。限于设备，本研究主要评价了滤波反投影法下的双低剂量研究。

本研究将对比剂控制到了 $25$  ml $\sim$  $35$  ml，药量依据体质量进行微调。对比剂注射流率依据固定的给药时长进行计算( $10$  s)。因此体质量决定了对比剂剂量与注射流率。通过相关分析，注射流率与衰减值无相关，说明基于体质量确定对比剂注射参数具有可行性。对于单一个体，对比剂静脉团注所生成的时间-密度曲线为不对称钟形曲线，即对比剂注射流率越快，其达峰时间向后推迟，而衰减值越高<sup>[10]</sup>。本研究注射流率偏低，因此会造成2种结局：达峰时间提前、衰减值偏低。由于峰值时间稍难控制，且给药时长为 $10$  s (仅超出扫描时间 $4$  s $\sim$  $5$  s)，即代偿时间较短，因此本研究选取左心房作为阈值触发层面，提高了可操作性。另一方面，通过管电压控制衰减值是一项重要技术。碘对比剂与X射线的相互作用主要为光电效应与康普顿散射效应，其中光电效应起主要作用、康普顿散射效应起次要作用。光电效应是指X射线光

子完全“置换”出碘原子最外层电子，达到最高的吸收系数，增强了目标衰减值，而康普顿散射效应则没有完全置换，由于X射线光子能量过高，碰撞后仍具有足够动能到达探测器，甚至进行2次碰撞，削减了吸收系数，降低了目标衰减值<sup>[11]</sup>。低千伏射线( $80$  kV $\sim$  $100$  kV)更容易产生光电效应，提高目标信号值，并结合给予较高管电流的办法补偿了低千伏射线的噪声值过高的问题，使得信噪比与对比噪声比维持一个适当的水平。本研究采用了 $80$  kV的X射线，有效的提高靶血管衰减值，本研究中主动脉根部衰减值 $200$  HU $\sim$  $300$  HU之间占 $3.22\%$ ， $300$  HU $\sim$  $400$  HU之间占 $51.61\%$ ， $400$  HU $\sim$  $500$  HU之间占 $45.16\%$ ，但是，受到重建算法的限制，背景噪声水平较高( $40.19 \pm 9.77$  HU)。本研究体质量指数、体质量与图像质量均无相关，说明采用该设计图像质量稳定性好，即图像质量不取决于病人生理参数。

低剂量电离辐射也具有罹患癌症的风险，遵循最低剂量原则进行检查操作对于减低群体受照剂量具有重要意义。本研究管电压采用了 $80$  kV，可以极大减低了辐射剂量。赵等<sup>[12]</sup>研究认为体质量指数( $r=0.537$ ,  $P=0.000$ )对噪声值的影响较体质量( $r=0.257$ ,  $P=0.032$ )大，这是由于体质量指数可以反映全身组织的均匀性，因此本研究在体质量指数 $\geq 22$  Kg/ $m^2$ 的情况下提高管电流以降低噪声值对图像质量的影响。对于扫描模式，本研究选取了前瞻性心电门控横断面扫描技术，这是目前被证明的最有效的减低辐射剂量措施。前门控技术是通过宽探测器性质，以及足够的时间分辨力，只在预定期相如舒张中末期曝光，扫描模式采

用步进-点射(Step and Shoot, SAS)技术, 减低了约4/5的辐射剂量。多项研究显示前门控技术可以获得可评估的图像质量<sup>[13-14]</sup>。

重叠时间(Padding time, PT)是前门控横断面单扇区扫描的前后各叠加额外的曝光时间, 以提供足够的期相对单期相数据进行微调。PT设置越长, 扫描时间越长, 但是获得的期相越多, 以利于不同期相的匹配。赵等<sup>[15]</sup>研究认为在心率 $\leq 65$ 次/min, 心率变异度 $\leq 5$ 次/min的情况下, PT设置为40ms是保证图像质量的最短重叠时间; 另一项研究<sup>[16]</sup>认为在心率 $\leq 65$ 次/min, 心率变异度 $\leq 5$ 次/min的情况下, PT设置50ms与200ms的图像质量无明显差异。而对于中等心率病人, 舒张中末期+收缩末期联合成像可以有效提高图像质量。对于前门控扫描模式, 将采集期相设置为60%, padding time设置为200ms可以兼顾约40%~80%的期相, 有效应用于中等心率病人<sup>[17]</sup>。因此, 本研究通过心率进行采集期相与重叠时间的微调, 保持了图像质量, 减少了辐射剂量的升高与运动伪影的干扰。

总之, 通过降低管电压以弥补降低对比剂剂量衰减过低具有可行性, 可以保持满足诊断的图像质量, 同时大幅度减少了辐射剂量与对比剂剂量。

## 参考文献

- [1] Maffei E, Martini C, De Crescenzo S, et al. Low dose CT of the heart: a quantum leap into a new era of cardiovascular imaging[J]. Radiol Med, 2010, 115: 1179-1207.
- [2] Bongartz G, Golding SJ, Jurik AJ. Guidelines on Radiation Dose to the Patient[R]// European Commission. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262 EN. Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg. <http://www.drs.dk/guidelines/ct/quality/index.htm>. Accessed 20 January 2010.
- [3] Austen WG, Edwards JE, Frye RL, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease: Report of the ad hoc committee for grading of coronary artery disease, council on cardiovascular surgery, american heart association[J]. Circulation, 1975, 51(S4): 5-40.
- [4] Schilp J, de Blok C, Langelaan M, Spreuwenberg P, Wagner C. Guideline adherence for identification and hydration of high-risk hospital patients for contrast-induced nephropathy[J]. BMC Nephrol. 2014; 15(1): 2.
- [5] Barrett BJ, Parfrey PS. Clinical practice Preventing nephropathy induced by contrast medium[J]. N Engl J Med. 2006; 354(4): 379-386.
- [6] Harjai KJ, Raizada A, Shenoy C, et al. A comparison of contemporary definitions of contrast nephropathy in patients undergoing percutaneous coronary intervention and a proposal for a novel nephropathy grading system[J]. Am J Cardiol. 2008; 101(6): 812-819.
- [7] Persson PB, Hansell P, Liss P. Pathophysiology of contrast medium-induced nephropathy[J]. Kidney Int. 2005; 68(1): 14-22.
- [8] Nakaura T, Kidoh M, Nakamura S, et al. Low-dose abdominal CT protocols with a tube voltage setting of 100 kVp or 80 kVp: Performance of radiation dose reduction and influence on visual contrast[J]. Clin Radiol, 2014, 69(8): 804-811.
- [9] 祁丽, 张龙江, 周长圣, 等. 70kVp管电压和30ml对比剂的前瞻性心电门控触发大螺距CT冠状动脉成像[J]. 放射学实践, 2014, 29(6): 601-605.
- [10] 王欣, 于丽娟, 刘瑞宝, 等. 对比剂注射速率与家兔肺动态CT时间-密度曲线的关系[J]. 医学影像学杂志, 2008, 18(9): 1002-1005.
- [11] CT系统的性能参数[M]//余晓镔, 卢广文. CT设备原理、结构与质量保证. 北京: 科学出版社, 2005: 107-116.
- [12] 赵磊, 王泽锋, 刘挨师. 低体质量指数与低体质量患者CT冠状动脉造影: 减低碘对比剂剂量与辐射剂量[J]. 实用放射学杂志, 2014, 30(1): 123-127.
- [13] James PE, Elise LB, Bruce AU, et al. Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique: improved image quality and reduced radiation dose[J]. Radiology, 2008, 246(3): 742-753.
- [14] 马延贺, 于铁链, 李东, 等. 64层螺旋CT冠状动脉成像中前瞻性心电门控技术的应用价值[J]. 中国医学影像技术, 2010, 26(3): 492-495.
- [15] 赵磊, 王娟, 王泽锋, 等. 低心率及心率变异下前门控CT冠状动脉造影中重叠时间设置的临床研究[J]. 临床放射学杂志, 2014, 33(1): 117-120.
- [16] Fumiko K, Tatsuo U, Tomonari A, et al. Coronary computed tomography angiography using prospective electrocardiography-gated axial scans with 64-detector computed tomography: evaluation of stair-step artifacts and padding time[J]. Jpn J Radiol, 2010, 28(6): 437-445.
- [17] 赵磊, 刘挨师, 王泽锋, 等. 中等心率患者前瞻性心电门控CT冠状动脉成像的临床研究[J]. 中华放射学杂志, 2012, 46(2): 175-177.

(本文图片见封二)

(本文编辑: 刘龙平)

【收稿日期】2016-02-10