

·临床研究·

# CT 心脑血管一体化成像的图像质量评价

刘淑蓉 陈国强 郑亮 张玉珍 韩瑞娟 赵瑞平 杨旗 李坤成 孙凯 吕滨

014040, 内蒙古医科大学包头临床医学院, 包头市中心医院影像科(刘淑蓉、陈国强、孙凯); 200120, 上海市同济大学附属东方医院转化医学研究中心(郑亮、张玉珍); 014040, 包头市中心医院心内科, 转化医学中心(韩瑞娟、赵瑞平); 100037, 首都医科大学宣武医院放射科(杨旗、李坤成); 100053, 中国医学科学院北京协和医学院国家心血管病中心阜外医院放射影像科(孙凯、吕滨)

通信作者: 孙凯, Email: Henrysk@163.com; 吕滨, Email: blu@vip.sina.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.05.001

**【摘要】目的** 评价双源 CT 心脑血管一体化成像的图像质量和有效辐射剂量, 探讨该方法的关键技术点, 为临床提供一种评价心脑血管疾病的无创性影像学方法。**方法** 前瞻性收集临床同时行冠状动脉和头颈部动脉 CT 动脉成像(CTA)的连续性患者共 493 例。根据 CT 扫描机型分为 2 组: A 组 300 例, 采用第三代双源 CT 前瞻性心电门控大螺距模式扫描, 根据心率进一步分为 A1 组( $n=69$ , 心率 $\leq 65$  次/分)和 A2 组( $n=231$ , 心率 $>65$  次/分); B 组 193 例, 采用第二代双源 CT 前瞻性心电门控大螺距模式扫描, 根据心率进一步分为 B1 组( $n=92$ , 心率 $\leq 65$  次/分)和 B2 组( $n=101$ , 心率 $>65$  次/分)。分别客观、主观地评价图像质量, 计算辐射剂量。计量资料采用独立样本  $t$  检验, 患者临床资料中的频数参数构成比采用  $\chi^2$  检验, 评价图像质量评分一致性采用 Cohen Kappa 分析。**结果** (1)A 组和 B 组患者间年龄( $t=0.58$ ,  $P=0.847$ )、性别( $\chi^2=1.45$ ,  $P=0.228$ )、体重指数( $t=1.20$ ,  $P=0.277$ )差异均无统计学意义。(2)图像质量客观评价: A 组颈总动脉、颈内动脉、大脑中动脉和椎动脉 V4 段 CT 值、噪声均低于 B 组, 差异均有统计学意义( $t=1.98\sim 4.49$ , 均  $P<0.05$ ), 两组患者的主动脉根部 CT 值( $t=0.68$ ,  $P=0.495$ )和噪声( $t=0.31$ ,  $P=0.755$ )差异无统计学意义。(3)图像质量主观评价的一致性 Kappa 值为 0.912。①与 B 组进行比较, A 组的冠状动脉 CTA 平均图像质量的评分更好( $t=0.018$ ,  $P=0.001$ )、冠状动脉 4 级血管基于患者数的不可诊断率更低( $\chi^2=6.63$ ,  $P=0.014$ ), 且差异均有统计学意义; ②与 B 组进行比较, A 组的头颈部 CTA 评分更好( $t=0.013$ ,  $P=0.004$ )、头颈部 4 级血管基于患者数的不可诊断率更低( $\chi^2=4.38$ ,  $P=0.036$ ), 且差异均有统计学意义; ③A 组有效辐射剂量为  $(1.48\pm 0.33)$  mSv, 较 B 组 $[(2.14\pm 0.52)$  mSv]降低了 30%, 差异有统计学意义( $t=14.79$ ,  $P=0.001$ )。**结论** 第三代双源 CT 心脑血管一体化成像采用不同心率采集不同扫描时间窗的办法, 能提供较好的图像质量, 且降低了辐射剂量, 是一种评价心脑血管疾病的无创性影像学方法。

**【关键词】** 体层摄影术, X 线计算机; 心血管造影术; 脑血管造影术; 图像质量**基金项目:** 国家自然科学基金项目(81560286); 包头市科技计划项目(2015S2004-1-5)

## Evaluation of the image quality of integrated imaging in coronary combined with carotid and cerebrovascular computed tomography angiography

Liu Shurong, Chen Guoqiang, Zheng Liang,

Zhang Yuzhen, Han Ruijuan, Zhao Ruiping, Yang Qi, Li Kuncheng, Sun Kai, Lyu Bin

Department of Radiology, Baotou Central Clinical Medicine College, Inner Mongolia Medical University, Inner

Mongolia 014040, China (Liu SR, Chen GQ, Sun K); Key Laboratory of Arrhythmias of Ministry of Education,

Research Center of Translational Medicine, Shanghai East Hospital, Tongji University School of Medicine,

Shanghai 200120, China (Zheng L, Zhang YZ); Department of Cardiology, Center of Translational medicine,

Baotou Central Hospital, Baotou 014040, China (Han RJ, Zhao RP); Department of Radiology, Xuanwu

Hospital, Capital Medical University, Beijing 100037, China (Yang Q, Li KC); State Key Laboratory of

Cardiovascular Disease, Fu Wai Hospital, National Center for Cardiovascular Disease, Chinese Academy of

Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100053, China (Sun K, Lyu B)

Corresponding authors: Sun Kai, Email: Henrysk@163.com; Lyu Bin, Email: blu@vip.sina.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the image quality, radiation dose and key technologies of integrated imaging in coronary combined with carotid and cerebrovascular computed tomography angiography (CTA), which hopes to offer a non-invasive imaging method for cardiovascular and cerebrovascular diseases evaluation. **Methods** A total of 493 symptomatic patients referred for simultaneous coronary, carotid, and cerebrovascular CTA were prospectively included. The subjects were divided into two groups according to CT model. Group A(300 cases), on which 3<sup>rd</sup> generation dual-source CT was performed, was further divided into groups A1( $n=69$ , HR $\leq 65$  bpm) and A2( $n=231$ , HR $>65$  bpm), while group B(113 cases), on which 2<sup>nd</sup> generation dual-source CT was performed, was further divided into groups B1( $n=92$ , HR $\leq 65$  bpm) and B2( $n=101$ , HR $>65$  bpm). Objective and subjective image quality and radiation dose were analyzed, factors influencing image quality were determined, and the key technologies of the method were described. The measurement data were tested by independent sample  $t$  test, the frequency parameter composition ratio in the patient's clinical data was tested by chi-square  $\chi^2$  test, and Cohen Kappa analysis was used to evaluate the consistency of the image quality score. **Results** (1) No statistically significant difference between groups A and B was found in terms of age ( $t=0.58$ ,  $P=0.847$ ), gender ( $\chi^2=1.45$ ,  $P=0.228$ ), and body mass index ( $t=1.20$ ,  $P=0.277$ ). (2) Objective evaluation of image quality: Common carotid artery, internal carotid artery, middle cerebral artery, and vertebral artery CT values and noise in group A were significantly lower than those in group B ( $t=1.98-4.49$ , all  $P<0.05$ ), although no statistically significant difference between groups was found in terms of aortic root CT values ( $t=0.68$ ,  $P=0.495$ ) and noise score ( $t=0.31$ ,  $P=0.755$ ). (3) The consistency of the image quality assessment was good (Kappa value=0.912). ① Subjective evaluation of image quality: The average coronary CTA image quality score of group A was better than that of group B ( $t=0.018$ ,  $P=0.001$ ), and the rate of non-diagnostic coronary grade 4 vessels based on number of patients in group A was lower than that in group B ( $\chi^2=6.63$ ,  $P=0.014$ ). ② Carotid-cerebrovascular CTA score of group A was better than group B ( $t=0.013$ ,  $P=0.004$ ), and carotid-cerebrovascular grade 4 vessels were less likely to be diagnosed in group A than in group B ( $\chi^2=4.38$ ,  $P=0.036$ ). ③ The effective radiation dose of group A was significantly lower than that of group B [ $(1.48\pm 0.33)$  mSv vs.  $(2.14\pm 0.52)$  mSv;  $t=14.79$ ,  $P=0.001$ ]. **Conclusions** Integrated imaging by coronary and cerebrovascular CTA is a non-invasive imaging method which adopted different heart rates were captured by different scan time windows can providing high image quality with significant reduction of radiation for evaluation of coronary and cerebrovascular disease.

**【Key words】** Tomography, X-ray computed; Angiocardiology; Cerebral angiography; Image quality

**Fund programs:** National Natural Science Foundation of China (81560286); Science and Technology Planning Project of Baotou (2015S2004-1-5)

冠状动脉粥样硬化与颈动脉、脑动脉粥样硬化密切相关<sup>[1-5]</sup>。研究表明, 32.4%无心脏症状的脑梗死患者同时合并有冠状动脉重度狭窄<sup>[6]</sup>。因此, 全面准确地评价心脑血管动脉粥样硬化的程度及两者的关系, 能够进行早期干预, 对降低心脑血管事件的发生具有重要的临床意义。传统上, 用多层螺旋CT行冠状动脉、头颈部动脉一体化成像时, 总辐射剂量高、对比剂用量大、操作费时, 且心率均需控制在60次/min。本研究旨在突破心率限制, 通过评价CT心脑血管一体化成像的客观图像质量、主观图像质量和辐射剂量, 分析图像质量的影响因素, 探讨该方法的关键技术点, 为临床提供一种无创的评价心脑血管的影像学方法。

## 1 资料与方法

### 1.1 临床资料

前瞻性选择2015年10月至2017年7月在内蒙古医科大学包头临床医学院临床上需要同时进行冠状动脉和头颈部动脉CT血管造影(CT angiography, CTA)的连续性患者493例。入选标准: ①有心血管或脑血管疾病易患因素的高危人群, 如有糖尿病、高血脂、高血压、吸烟史、心脑血管疾病家族史; ②无CTA检查禁忌证; ③了解CTA扫描及研究方案, 并签署知情同意书。排除标准: ①有对比剂过敏史; ②严重肝、肾功能不全病史(肾小球滤过率 $< 60$  mL/min); ③心功能不全; ④患瓣膜病或其他心脏

疾病,如心肌病或先天性心脏病;⑤各种病因的肺动脉高压;⑥怀孕或育龄、哺乳期妇女;⑦研究相关数据不全者。

根据CT扫描机型将患者分为A、B两组。A组采用第三代双源CT(Force,德国西门子Healthcare公司)前瞻性心电门控大螺距模式扫描,共300例,其中男性199例,女性101例;年龄27~92岁,平均年龄(54±9)岁;体重指数(body mass index, BMI)为10.8~32.6 kg/m<sup>2</sup>,平均BMI为(22.50±2.37)kg/m<sup>2</sup>;心率为52~128次/min,平均心率为(74±11)次/min。根据心率不同将A组分为A1组(n=69,心率≤65次/min)和A2组(n=231,心率>65次/min)。B组采用第二代双源CT(Definiton Flash,德国西门子Healthcare公司)前瞻性心电门控大螺距模式扫描,共193例,其中男性64例,女性129例;年龄34~83岁,平均年龄(54±10)岁;BMI为19.8~27.5 kg/m<sup>2</sup>,平均BMI为(22.15±2.01) kg/m<sup>2</sup>;心率为56~108次/min,平均心率为(57±5)次/min。根据心率不同将B组分为B1组(n=92,心率≤65次/min)和B2组(n=101,心率>65次/min)。全部患者中怀疑心脑血管病变和体检者共454例;枕骨术后1例;怀疑头颈血管动脉瘤1例;冠状动脉支架或经皮冠状动脉介入治疗术后18例;合并头颈血管支架3例,其中2例在颅脑动脉,1例颈动脉;仅头颈血管支架者1例;冠脉搭桥者2例,其中1例合并头颈血管支架术后;心脏起搏器者术后1例;主动脉弓壁间血肿1例;其他11例。

## 1.2 检查方法

A组扫描参数如下:探测器准直为2 mm×192 mm×0.6 mm,旋转时间为0.25 s,螺距3.2,管电压自动调节(CARE kV,德国西门子Healthcare公司)<sup>[7-8]</sup>,管电流采用自动调节技术(CARE Dose 4D,德国西门子Healthcare公司)。扫描前行呼吸训练,常规舌下喷硝酸甘油2喷。先行冠状动脉钙化评分扫描,然后实施“一站式”血管联合增强扫描。扫描方向为从足部向头部,扫描范围从隔顶至颅顶(心脏+头颈部范围)。心率≤65次/min,扫描时采用舒张期成像,即RR间期的55%;心率>65次/min,采用收缩期成像,即RR间期的30%。B组扫描参数如下:准直为2 mm×128 mm×0.6 mm,旋转时间为0.28 s,螺距3.2,管电压为100~120 kV,管电流为360~430 mAs。具体扫描方法与A组相同。

注射对比剂采用Bolus-tracking方法,应用碘海醇(OmniPaque 350,美国GE Healthcare公司):A组对比剂总量为50 mL,B组对比剂总量为60 mL,采用双筒高压注射器(德国Ulrich Medical公司)以5.0 mL/s的流率肘静脉注射,在升主动脉根部设置ROI(阈值为100 HU),峰值时间延迟8 s开始扫描,流速和对比剂总量可根据不同的BMI进行调节。

## 1.3 图像后处理

两组患者均采用迭代算法进行轴位图像重建。横断位图像传至工作站(Syngo.Via CTA,德国西门子Healthcare公司)进行后处理。A组采用高级模拟迭代重建技术进行后处理,B组采用正弦图确定迭代重建技术<sup>[9]</sup>。将原始数据传到工作站后,采用Circulation软件和用软组织卷积核(B36f)对两组患者进行血管重建,有血管壁钙化者,采用锐利组织卷积核重建图像(B46)来补偿伪像。经最大密度投影、曲面重建、容积再现和心血管优化分析软件进行处理。脑血管重建方法:A组采用数字减影血管造影术(digital subtraction angiography, DSA)减影软件;B组采用Inspace重建,行最大密度投影和容积再现,重建层厚1 mm,间隔0.9 mm,卷积核D30f。

采用美国心脏病协会推荐的18分段法<sup>[9]</sup>,闭塞血管远段不计入分析。头颈部动脉血管分段:颈内动脉分为C1~C5段;大脑中动脉分为M1~M5段,大脑前动脉分为A1~A5段。

## 1.4 图像质量评价

图像质量客观评价<sup>[9]</sup>:测量体轴横断位图像。①冠状动脉显影强度评价:测量主动脉根部(左主干起源层面)的CT值(ROI约100 mm<sup>2</sup>);②头颈动脉显影强度评价:分别测量颈总动脉起始部(ROI约10 mm<sup>2</sup>)、颈内动脉起始部(ROI约2 mm<sup>2</sup>)、大脑中动脉M1段(ROI约2 mm<sup>2</sup>)、椎动脉V4段(ROI约2 mm<sup>2</sup>)的CT值;③噪声值取图像CT值的标准差;④信噪比(signal noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast noise ratio, CNR):在主动脉根部选取ROI区域,分别测量增强前和增强后的CT值,将二者之差定义为血管强化值,CNR为血管强化值与图像噪声之比。于主动脉根部测量强化后的CT值,计算平均CT值作为主动脉信号强度(signal intensity, SI)(简称SI主动脉),取其CT值



的平均标准差作为图像噪声,测量升主动脉起始部水平胸壁前空气的CT值的标准差为背景噪声(background noise, BN),测量主动脉弓层面胸大肌CT值,计算其平均值为背景信号强度(简称SI肌肉),ROI测量面积均为 $0.5\text{ cm}^2$ [7]。

$\text{SNR}=\text{SI 主动脉}/\text{BN}$ ;  $\text{CNR}=(\text{SI 主动脉}-\text{SI 肌肉})/\text{BN}$

图像质量主观评价<sup>[9]</sup>:由两名主治医师进行分析与评价。将冠状动脉、头颈部动脉图像质量分为4级,相应评为1~4分:1级为血管显示良好,边界清晰,无伪影或血管中断;2级为血管边界模糊,有轻度伪影;3级为血管有中度伪影,尚能满足诊断要求;4级为血管显示不清,有严重伪影,不能作出诊断。

### 1.5 辐射剂量

通过CT自动计算得到剂量长度乘积(dose length product, DLP),单位有效剂量(effective dose, ED)= $k \times \text{DLP}$ (心脏k值参照2017年Sigal Trattner<sup>[10]</sup>研究,心脏k值为 $0.026\text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ;头颈部k值参照欧盟委员会关于CT的质量标准指南,头颈部k值为 $0.0031\text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ )。取两部位有效辐射剂量相加计算<sup>[9]</sup>。心脏、头颈部扫描时间及DLP从患者扫描参数中获得。

### 1.6 统计学分析

采用SPSS 21.0软件进行统计学分析。定量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,符合正态分布且方差齐,两组间的计量资料比较采用独立样本t检验;采用 $\chi^2$ 检验对两组患者临床资料中的频数参数构成比进行比较。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。图像质量评分一致性采用Cohen Kappa分析,Kappa值 $> 0.81$ 为一致性极好、 $0.61 \sim 0.80$ 为一致性良好、 $0.41 \sim 0.60$ 为一致性中等、 $0.21 \sim 0.40$ 为一致性一般,Kappa值 $< 0.20$ 为一致性差。

## 2 结果

### 2.1 患者基线资料

由表1可见,A组和B组患者间年龄( $t=0.58$ ,  $P > 0.05$ )、性别( $\chi^2=1.45$ ,  $P > 0.05$ )、BMI( $t=$

$1.20$ ,  $P > 0.05$ )差异无统计学意义;在平均心率、心率变异性方面进行比较,差异均有统计学意义( $t=12.48$ 、 $3.48$ ,均 $P < 0.05$ );其余方面的比较差异均无统计学意义。

### 2.2 图像质量、辐射剂量的客观评价结果

通过对A组和B组心脑血管一体化成像的客观图像质量进行比较,A组颈总动脉、颈内动脉、大脑中动脉和椎动脉V4段的CT值、噪声均低于B组,差异均有统计学意义( $t=1.98 \sim 4.49$ ,均 $P < 0.05$ );A组的剂量长度乘积明显低于B组,且差异有统计学意义( $t=18.69$ ,  $P=0.001$ );A组有效辐射剂量较B组降低了30%,差异有统计学意义( $t=14.79$ ,  $P=0.001$ )。A组的对比剂用量、扫描时间、时间分辨率均明显低于B组,且差异有统计学意义( $t=45.51$ 、 $12.27$ 、 $14.79$ ,均 $P=0.001$ ),图像质量其他方面的差异均无统计学意义(表2)。

### 2.3 图像质量主观评价结果

对图像质量进行评价的一致性检验Kappa值为0.912。A1、A2、B1、B2各组患者间年龄( $t=0.18 \sim 0.37$ ,  $P > 0.05$ )、性别( $\chi^2=0.42 \sim 2.82$ ,  $P > 0.05$ )、BMI( $t=0.30 \sim 0.82$ ,  $P > 0.05$ )差异均无统计学意义。由表3可知:①与B组进行比较,A组的冠状动脉CTA平均图像质量的评分更好( $t=0.018$ ,  $P < 0.05$ )、冠状动脉4级血管基于患者数的不可诊断率更低( $\chi^2=6.63$ ,  $P < 0.05$ ),且差异均有统计学意义;②与B组进行比较,A组的头颈部CTA评分更好( $t=0.013$ ,  $P < 0.05$ )、头颈部4级血管基于患者数

表1 心脑血管一体化CT成像493例患者的基线资料

Table 1 Characteristics of 493 patients subjected to integrated imaging in coronary combined with carotid and cerebrovascular CT angiography

| 变量                              | A组/n=300              | B组/n=193              | 检验值           | P值    |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-------|
| 年龄/岁                            | 54.27±9.63            | 53.56±10.64           | $t=0.58$      | 0.847 |
| 性别/(男)                          | 66.33(199)            | 33.16(64)             | $\chi^2=1.45$ | 0.228 |
| 体重指数/( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) | 22.50±2.37(10.6~32.6) | 22.15±2.01(19.8~27.5) | $t=1.20$      | 0.277 |
| 最低心率/(次/min)                    | 71.60±11.91(45~128)   | 61.12±4.10(53~103)    | $t=7.84$      | 0.001 |
| 最高心率/(次/min)                    | 78.50±21.62(54~285)   | 73.33±21.28(57~130)   | $t=1.93$      | 0.055 |
| 平均心率/(次/min)                    | 74.00±11.00(52~128)   | 57.00±5.00(56~108)    | $t=12.48$     | 0.001 |
| 心率变异性                           | 6.90±20.63(0~299)     | 16.00±22.18(0~67)     | $t=3.48$      | 0.001 |
| 扫描长度/mm                         | 478.98±26.41          | 486.51±56.24          | $t=1.84$      | 0.067 |
| 管电流/mAs                         | 359.70±83.66          | 373.83±15.78          | $t=1.77$      | 0.077 |
| 管电压/kV                          | 98.60±9.53            | 100.17±1.88           | $t=1.73$      | 0.083 |

注:表中,A组采用第三代双源CT(Force,德国西门子Healthcare公司)前瞻性心电门控大螺距模式扫描;B组采用第二代双源CT(Definiton Flash,德国西门子Healthcare公司)前瞻性心电门控大螺距模式扫描。

的不可诊断率更低( $\chi^2=4.38, P<0.05$ ), 且差异均有统计学意义; ③不同扫描间期 A1 组和 A2 组的图像质量进行比较, A2 组可取得与 A1 组同样的图像质量评分, 差异均无统计学意义( $t=0.82、0.88, \chi^2=0.18、0.82, 均 P>0.05$ )。高心率患者采用第三代双源 CT 成像较二代 CT 成像的成功率高(88.74% vs. 67.32%,  $\chi^2=22.06, P<0.05$ ), 典型病例的图像见图1 和图2。

### 3 讨论

本研究通过评价 CT 心脑血管一体化成像的客观图像质量、主观图像质量和辐射剂量, 分析影响图像质量的因素, 结果表明: ①双源 CT 心脑血管一体化成像的关键技术点为采用大螺距扫描模式从足到头部方向扫描, 低心率患者(心率 $\leq 65$ 次/min)扫描时间窗采用舒张期成像(RR 间期 55%), 高心率患者(心率 $>65$ 次/min)采用收缩期成像(RR 间期 30%); ②与第二代双源 CT 相比, 第三代双源 CT

头颈部动脉可以去骨重建, 明显提高了图像质量, 提高了高心率患者的成像成功率; ③与第二代双源 CT 相比, 第三代双源 CT 辐射剂量降低了 30%。双源 CT 心脑血管一体化成像为临床提供了一种评价心脑血管疾病的无创性影像学方法。

我们团队的前期研究已证实了 CT 心脑血管一体化成像的可行性<sup>[9,11]</sup>, 大螺距双源 CT 在相对较低辐射剂量条件下对评估冠状动脉、颈动脉和脑动脉狭窄提供了质量良好的图像和较高的诊断准确率, 但前期研究具有一定局限性: 样本量较小(82 例), 仅用第二代双源 CT 成像, 选择的患者心率均在 65 次/min 以下。本研究在前期研究基础上进行了进一步研究, 样本量扩大为 493 例, 入选患者的心率平均(74 $\pm$ 11)次/min, 最高心率可达 128 次/min。

在本研究中我们发现, 心脑血管一体化成像失败的原因大多在于冠状动脉成像的失败。影响因素有以下 4 点: ①心率变异性较大, 如房颤、心率不齐患者一次性图像成功的可能性较小, Gramer 等<sup>[12]</sup>运用 256

排 CT 的研究也发现, 心率变异性高的患者冠状动脉图像质量评分低。②高心率患者冠状动脉成像的成功率低, Gordic 等<sup>[13]</sup>在对高心率(心率 $>65$ 次/min)患者的最初的研究发现基于血管节段评价失败率可达 12.5%, 基于患者评价失败率达 36%。③错误的时间窗选择, 低心率应选择舒张期(RR 间期的 55%)成像, 高心率应选择收缩期(RR 间期的 30%)成像, 如落在 QRS 波峰(QRS 波是指正常心电图幅度最大的波群, 反映心室除极的全过程)上, 则成像成功的可能性减小。Zimmerman 等<sup>[14]</sup>运用双源 CT 对心率大于 90 次/min 的患者采用 30%~80%RR 间期成像, 获得了质量良好的图像。一项研究结果也表明, 应对高心率患者(心率 $>65$ 次/min)采用双源 CT 大螺距前瞻性心电门控螺旋扫描, 在 RR 间期 20%~30%成像<sup>[15]</sup>。Nitesh 等<sup>[16]</sup>也在研

表 2 A、B 两组患者心脑血管一体化 CT 成像图像质量客观评价比较( $\bar{x}\pm s$ )

Table 2 Comparison of objective integrated imaging in coronary combined with carotid and cerebrovascular CT angiography between 3<sup>rd</sup> and 2<sup>nd</sup> dual-source CT

| 患者图像质量比较参数/<br>(HU, $\bar{x}\pm s$ ) | A 组/n=300                          | B 组/n=193                           | t 值   | P 值   |
|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|
| 主动脉根部 CT 值                           | 449.46 $\pm$ 109.24                | 457.29 $\pm$ 86.43                  | 0.68  | 0.495 |
| 主动脉根部噪声                              | 23.86 $\pm$ 7.76                   | 24.11 $\pm$ 5.46                    | 0.31  | 0.755 |
| 颈总动脉 CT 值                            | 454.94 $\pm$ 125.44                | 512.83 $\pm$ 87.83                  | 4.49  | 0.001 |
| 颈总动脉噪声                               | 14.57 $\pm$ 5.94                   | 16.00 $\pm$ 5.96                    | 2.17  | 0.031 |
| 颈内动脉 CT 值                            | 452.79 $\pm$ 121.53                | 488.82 $\pm$ 102.18                 | 2.46  | 0.004 |
| 颈内动脉噪声                               | 15.32 $\pm$ 10.48                  | 18.56 $\pm$ 8.72                    | 2.91  | 0.002 |
| 大脑中动脉 CT 值                           | 406.49 $\pm$ 112.16                | 470.83 $\pm$ 87.96                  | 5.48  | 0.001 |
| 大脑中动脉噪声                              | 19.22 $\pm$ 8.87                   | 26.85 $\pm$ 16.14                   | 6.09  | 0.001 |
| 椎动脉 V4 段 CT 值                        | 384.53 $\pm$ 102.75                | 470.18 $\pm$ 97.37                  | 7.63  | 0.049 |
| 椎动脉 V4 段噪声                           | 20.24 $\pm$ 8.44                   | 22.08 $\pm$ 8.17                    | 1.98  | 0.049 |
| 主动脉层面 SNR                            | 25.09 $\pm$ 12.03                  | 23.10 $\pm$ 6.12                    | 1.67  | 0.095 |
| 主动脉层面 CNR                            | 22.07 $\pm$ 11.25                  | 19.96 $\pm$ 6.49                    | 1.87  | 0.062 |
| 剂量长度乘积/mGy.cm                        | 138.57 $\pm$ 31.62<br>(73.5~258.0) | 219.57 $\pm$ 54.62<br>(142.0~399.0) | 18.69 | 0.001 |
| 时间分辨率/ms                             | 66                                 | 75                                  | 14.79 | 0.001 |
| 扫描时间/s                               | 0.78 $\pm$ 0.12                    | 0.94 $\pm$ 0.06                     | 12.27 | 0.001 |
| 对比剂/mL                               | 50.00 $\pm$ 0.00                   | 60.00 $\pm$ 0.00                    | 45.51 | 0.001 |
| 有效辐射剂量/mSv                           | 1.48 $\pm$ 0.33<br>(0.79~2.77)     | 2.14 $\pm$ 0.52<br>(1.36~4.08)      | 14.79 | 0.001 |

注: 表中, A 组采用第三代双源 CT(Force, 德国西门子 Healthcare 公司)前瞻性心电门控大螺距模式扫描; B 组采用第二代双源 CT(Definiton Flash, 德国西门子 Healthcare 公司)前瞻性心电门控大螺距模式扫描。SNR: 信噪比; CNR: 对比噪声比。

表3 不同扫描间期心脑血管一体化成像图像质量主观评分

Table 3 Comparison of subjective integrated imaging in coronary combined with carotid and cerebrovascular CT angiography between 3<sup>rd</sup> and 2<sup>nd</sup> dual source CT in different scan interval

| 变量                      | 冠状动脉 CTA 平均图           | 头颈部 CTA 平均图像           | 冠状动脉 4 级血管基于             | 头颈部 4 级血管基于患             |
|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                         | 像质量评分                  | 质量评分                   | 患者数/(%) (例)              | 者数/(%) (例)               |
| A 组/n=300               | 1.09±0.42              | 1.05±0.34              | 1.00(3/300)              | 0.06(2/300)              |
| A1 组/n=69, 心率≤65 次/min  | 1.08±0.44              | 1.08±0.41              | 1.44(1/69)               | 1.44(1/69)               |
| A2 组/n=201, 心率>65 次/min | 1.09±0.38              | 1.04±0.32              | 0.86(2/231)              | 0.43(1/231)              |
| B 组/n=193               | 1.44±0.88 <sup>a</sup> | 1.19±0.61 <sup>a</sup> | 4.66(9/193) <sup>a</sup> | 3.11(6/193) <sup>a</sup> |
| B1 组/n=92, 心率≤65 次/min  | 1.26±0.73              | 1.07±0.45              | 5.43(5/92)               | 2.17(2/92)               |
| B2 组/n=101, 心率>65 次/min | 1.60±0.98 <sup>b</sup> | 1.30±0.71 <sup>b</sup> | 4.95(5/101) <sup>b</sup> | 3.96(4/101) <sup>b</sup> |

注：表中，A 组采用第三代双源 CT(Force, 德国西门子 Healthcare 公司)前瞻性心电门控大螺距模式扫描；B 组采用第二代双源 CT (Definiton Flash, 德国西门子 Healthcare 公司)前瞻性心电门控大螺距模式扫描。<sup>a</sup>：与 A 组比较，差异均有统计学意义( $t=0.018$ 、 $0.013$ ,  $\chi^2=6.63$ 、 $4.38$ , 均  $P<0.05$ )；<sup>b</sup>：与 A2 组比较，差异均有统计学意义( $t=2.013$ 、 $4.357$ ,  $\chi^2=5.68$ 、 $5.89$ , 均  $P<0.05$ )。CTA：CT 血管造影。

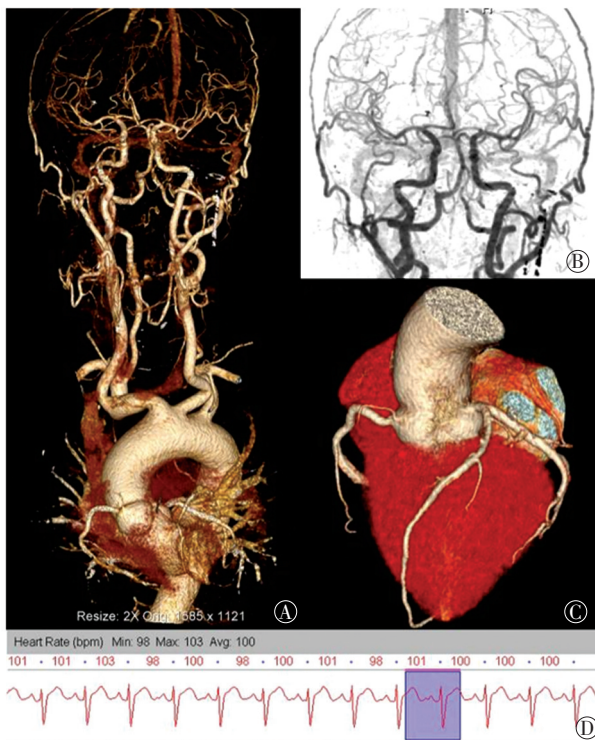


图1 第三代双源 CT 行心脑血管一体化成像典型病例图 患者男性, 53 岁, 有心脑血管疾病易患因素, 无临床症状。图中, A: 容积再现重建图; B: 头颈部血管去骨重建最大密度投影图; C: 冠状动脉成像容积再现图; D: 心电门控图显示扫描时平均心率 100 次/min。对比剂用量为 50 mL, 扫描时间为 0.72 s, 剂量长度乘积为 119 mGy·cm, 有效辐射剂量为 0.909 mSv。冠状动脉图像质量主观评分为 1 分, 头颈部血管图像质量主观评分为 1 分。

Fig.1 A typical case of 3<sup>rd</sup> generation dual-source CT of integrated imaging in coronary combined with carotid and cerebrovascular CT angiography

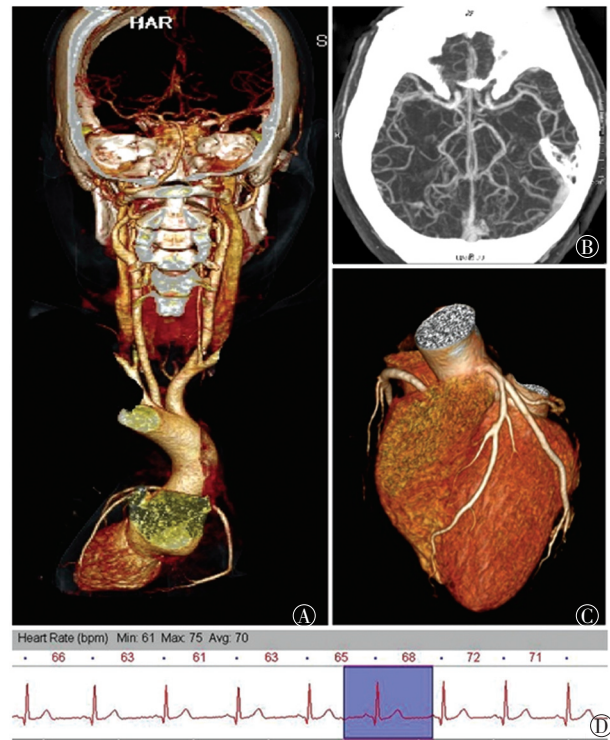


图2 第二代双源 CT 行心脑血管一体化成像典型病例图 患者女性, 43 岁, 有心脑血管疾病易患因素, 无临床症状。图中, A: 一体化成像容积再现图; B: 头颈部血管去骨重建最大密度投影图; C: 冠状动脉成像容积再现图。D: 心电门控图显示扫描时平均心率 70 次/min。造影剂用量为 60 mL, 扫描时间为 0.88 s, 剂量长度乘积为 190 mGy·cm, 有效辐射剂量为 1.180 mSv。冠状动脉图像质量主观评分为 1 分, 头颈部血管图像质量主观评分为 1 分。

Fig.2 A typical case of 2<sup>nd</sup> generation dual-source CT of integrated imaging in coronary combined with carotid and cerebrovascular CT angiography

究中提出了时间窗的选择, 高心率采用收缩期成像。④与我们的前期研究结果相比, 本研究结果显

示, 与第二代双源 CT 时间分辨率 (75 ms) 相比<sup>[9]</sup>, 第三代 A 代双源 CT 时间分辨率 (66 ms)<sup>[17]</sup>较前提



升, 差异有统计学意义。与第二代双源 CT 相比, 第三代双源 CT 明显提高了图像质量, 提高了高心率患者成像的成功率, 并且头颈部动脉可以去骨重建, 这些表明 CT 的时间分辨率是影响图像质量的一个重要因素。

我们前期进行心脑一体化成像用时 ( $0.97 \pm 0.09$ ) s<sup>[18]</sup>, 而 Wang 等<sup>[19]</sup>运用第二代双源 CT 进行心脑联合扫描, 时间为 ( $1.31 \pm 0.06$ ) s。Zhang 等<sup>[20]</sup>研究结果发现, 心脑血管 CTA 扫描时间为 12.9~18.6 s, 平均 ( $14.7 \pm 1.7$ ) s。本研究进行心脑一体化成像仅用时 ( $0.78 \pm 0.12$ ) s, 这表明第三代双源 CT 缩短了扫描时间。随着分辨率的提高和扫描时间的缩短, 因此降低了辐射剂量。我们前期研究结果显示, 进行心脑一体化成像时的辐射剂量为 ( $1.42 \pm 0.44$ ) mSv<sup>[9]</sup>。Furtado 等<sup>[21]</sup>对 120 例脑卒中患者采用 64 排 CT 完成颅内动脉、颈动脉、和冠状动脉 CTA 三部位分期扫描, 头颈部 DLP 为 ( $726.4 \pm 41.5$ ) mGy·cm, 冠状动脉 DLP 为 ( $374.7 \pm 28.9$ ) mGy·cm。Tognolini 等<sup>[22]</sup>对 33 例患者采用二期扫描, 头颈部采用螺旋模式, 心脏扫描采用前瞻性心电门控序列, 辐射剂量达 4.3 mSv。Zhang 等<sup>[23]</sup>进行的心脑联扫有效辐射剂量达 7.0 mSv, Zhang 等<sup>[20]</sup>降低为 ( $2.21 \pm 1.38$ ) mSv。本研究心脑联合扫描中高心率患者扫描时选取收缩期成像, 低心率患者选取舒张期成像, DLP 较前明显降低, 有效辐射剂量较前明显降低。随着第三代双源 CT 扫描速度的提升<sup>[8-9]</sup>, 对比剂的用量可进一步减少。据文献报道, 第二代双源 CT 及 256 排螺旋 CT 心脑一体化成像使用对比剂用量为 65~90 mL<sup>[18-20]</sup>, 在本研究中对对比剂用量仅为 50 mL, 较前明显降低, 表明第三代双源 CT 减少了对比剂用量。

局限与不足: ①本研究并未评价第三代双源 CT 一体化血管成像诊断血管狭窄的准确性, 应进一步研究证实; ②本研究未对斑块进行分析, 未对各类型斑块的危险因素进行分析。

本研究结果表明, 第三代双源 CT 心脑血管一体化成像在相对低辐射剂量及头颈部动脉自动去骨重建的条件下为高心率患者评估冠状动脉、颈动脉和脑动脉狭窄提供了较好的图像质量, 提高了一体化成像的成功率, 为临床提供了一种评价心脑血管疾病的无创性影像学方法。

**利益冲突** 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展, 不涉及任何利益冲突。

**作者贡献声明** 刘淑蓉负责研究过程的实施, 收集实验数据及调查、论文的撰写与修订; 陈国强负责研究过程的实施, 收集实验数据及调查; 郑亮、张玉珍负责数据的提供与分析; 韩瑞娟、赵瑞平、杨旗、李坤成、吕滨负责研究命题的提出与设计, 包括某个观点或方法的提出; 孙凯负责研究命题的提出与设计、论文的审阅。

## 参 考 文 献

- [1] 陈伟伟, 高润霖, 刘力生, 等. 中国心血管病报告 2017 概要[J]. 中国循环杂志, 2018, 33 (1): 1-8.  
Chen WW, Gao RL, Liu LS. Interpretation of Report on Cardiovascular Diseases in China (2017)[J]. Chin Circ J, 2018, 33 (1): 1-8.
- [2] Yancy CW, Jessup M, Bozkurt B, et al. 2017 ACC/AHA/HFSA Focused Update of the 2013 ACCF/AHA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Failure Society of America[J]. J Card Fail, 2017, 23(8): 628-651. DOI: 10.1016/j.cardfail.2017.04.014.
- [3] Kramer CK, Zinman B, Retnakaran R. Are metabolically healthy overweight and obesity benign conditions: A systematic review and meta-analysis[J]. Ann Intern Med, 2013, 159(11): 758-769. DOI: 10.7326/0003-4819-159-11-201312030-00008.
- [4] Hamirani YS, Larijani V, Isma'eel H, et al. Association of plaque in the carotid and coronary arteries, using MDCT angiography [J]. Atherosclerosis, 2010, 211(1): 141-145. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2010.01.020.
- [5] Benjamin EJ, Blaha MJ, Chiuve SE, et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2017 Update: A Report From the American Heart Association[J/OL]. Circulation, 2017, 135(10): e146-e603[2018-02-20]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28122885>. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000485.
- [6] Jin GY, Jeong SK, Lee SR, et al. Screening strategies for the diagnosis of coronary artery stenosis in patients with cerebral infarction using dual-source spiral CT[J]. J Neurol Sci, 2009, 284 (1-2): 129-134. DOI: 10.1016/j.jns.2009.04.036.
- [7] 孔令燕, 梁继祥, 薛华丹, 等. 自动管电压选择技术在第三代双源 CT 大螺距主动脉 CT 血管成像扫描中的初步应用[J]. 中国医学科学院学报, 2017, 39(1): 62-67. DOI: 10.3881/j.issn.1000-503X.2017.01.011.  
Kong LY, Liang JX, Xue HD, et al. Initial Experience of the Application of Automated Tube Potential Selection Technique in High-pitch Dual-source CT Angiography of Whole Aorta Using Third-generation Dual-source CT Scanner[J]. Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao, 2017, 39(1): 62-67.
- [8] Scholtz JE, Wichmann JL, Hüsters K, et al. Third-generation dual-source CT of the neck using automated tube voltage adaptation in combination with advanced modeled iterative reconstruction:

- evaluation of image quality and radiation dose[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(8): 2623–2631. DOI: 10.1007/s00330-015-4099-z.
- [9] Sun K, Li K, Han R, et al. Evaluation of high-pitch dual-source CT angiography for evaluation of coronary and carotid-cerebrovascular arteries[J]. *Eur J Radiol*, 2015, 84(3): 398–406. DOI: 10.1016/j.ejrad.2014.11.009.
- [10] Trattner S, Halliburton S, Thompson CM, et al. Cardiac-Specific Conversion Factors to Estimate Radiation Effective Dose From Dose-Length Product in Computed Tomography[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2018, 11(1): 64–74. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.06.006.
- [11] Zhang H, Ma Y, Lyu J, et al. Low kV and Low Concentration Contrast Agent with Iterative Reconstruction of Computed Tomography (CT) Coronary Angiography: A Preliminary Study[J]. *Med Sci Monit*, 2017, 23: 5005–5010.
- [12] Gramer BM, Diez MP, Chin AS, et al. 256-slice CT angiographic evaluation of coronary artery bypass grafts: effect of heart rate, heart rate variability and Z-axis location on image quality[J/OL]. *PLoS One*, 2014, 9(3): e91861[2018-02-20]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24637891>. DOI: 10.1371/journal.pone.0091861.
- [13] Gordic S, Husarik DB, Desbiolles L, et al. High-pitch coronary CT angiography with third generation dual-source CT: limits of heart rate[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2014, 30(6): 1173–1179. DOI: 10.1007/s10554-014-0445-5.
- [14] Zimmerman SL, Kral BG, Fishman EK. Diagnostic quality of dual-source coronary CT examinations performed without heart rate control: importance of obesity and heart rate on image quality[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2014, 38(6): 949–955. DOI: 10.1097/RCT.000000000000135.
- [15] 中华内科杂志编委会心血管病学编写组. 我国心血管疾病十年回顾[J]. *中华内科杂志*, 1999, 38(9): 599–603.  
Writing Group on Cardiovascular Diseases, Editorial Board, Chinese Journal of Internal Medicine. A review of cardiovascular studies in the recent decade in China[J]. *Chin J Intern Med*, 1999, 38(9): 599–603.
- [16] Nerlekar N, Ko BS, Nasir A, et al. Impact of heart rate on diagnostic accuracy of second generation 320-detector computed tomography coronary angiography[J]. *Cardiovasc Diagn Ther*, 2017, 7(3): 296–304. DOI: 10.21037/cdt.2017.03.05.
- [17] 梁蓉, 张璋, 李锋坦, 等. 第三代双源 CT 冠状动脉成像三低扫描方案的初步经验[J]. *放射实践学*, 2017, 32(4): 378–382. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.04.018.  
Liang R, Zhang Z, Li FT, et al. A protocol of low tube voltage, less contrast medium dosage and low flow rate for coronary angiography using 3rd-generation dual-source CT: initial experience[J]. *Radiol Practice*, 2017, 32(4): 378–382.
- [18] Sun K, Li K, Han R, et al. Evaluation of high-pitch dual-source CT angiography for evaluation of coronary and carotid-cerebrovascular arteries[J]. *Eur J Radiol*, 2015, 84(3): 398–406. DOI: 10.1016/j.ejrad.2014.11.009.
- [19] Wang Z, Chen Y, Wang Y, et al. Feasibility of low-dose contrast medium high pitch CT angiography for the combined evaluation of coronary, head and neck arteries[J/OL]. *PLoS One*, 2014, 9(3): e90268[2018-02-20]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3940874/>. DOI: 10.1371/journal.pone.0090268.
- [20] Zhang JL, Liu BL, Zhao YM, et al. Combining Coronary with Carotid and Cerebrovascular Angiography Using Prospective ECG Gating and Iterative Reconstruction with 256-slice CT[J]. *Echocardiography*, 2015, 32(8): 1291–1298. DOI: 10.1111/echo.12830.
- [21] Furtado AD, Adraktas DD, Brasic N, et al. The triple rule-out for acute ischemic stroke: imaging the brain, carotid arteries, aorta, and heart[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2010, 31(7): 1290–1296. DOI: 10.3174/ajnr.A2075.
- [22] Tognolini A, Arellano CS, Marfori W, et al. Comprehensive low-dose imaging of carotid and coronary arteries with a single-injection dual-source CT angiography protocol[J]. *Clin Radiol*, 2014, 69(3): 246–253. DOI: 10.1016/j.crad.2013.10.004.
- [23] 张晓东, 唐秉航, 李芳云, 等. 256层螺旋 CT 低剂量心脑血管联合成像初步研究[J]. *中华放射学杂志*, 2011, 45(11): 1008–1012. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2011.11.004.  
Zhang XD, Tang BH, Li FY, et al. Low dose 256-slice spiral CT of coronary combined with carotid and cerebrovascular angiography [J]. *Chin J Radiol*, 2011, 45(11): 1008–1012.

(收稿日期: 2018-02-27)