

论 著

320排CT VHP技术联合迭代算法在TAVR术前CTA中的应用价值

海军军医大学第一附属医院放射诊断科
(上海 200433)

许 兵 赵冰辉 朱 洁*
田 冰 弓 静 王敏杰

【摘要】目的 通过分析TAVR患者术前CTA主观及客观图像质量, 探讨320排CT VHP技术联合迭代算法在TAVR术前评估的应用价值。**方法** 前瞻性纳入心血管外科行主动脉瓣膜置换的患者, 所有患者术前均行320排CT VHP技术进行CTA检查。按随机数字法分为80kV组、100kV组、120kV组。三组对比剂用量分别为0.9、1.1、1.2mL/kg体重; 流速分别为: 3、3.5、4mL/s。每组患者图像分别采用AIDR与FBP算法, 最终得到六个亚组图像。比较三组各层图像质量。所有数据采用SPSS 21.0统计软件进行分析, $P<0.05$ 表示有统计学意义。**结果** 每组各32人入组本研究。三组患者之间一般资料比较差异均无统计学意义。80kV组: AIDR算法在左、右颈总动脉及左、右股动脉层面的主观评分均高于FBP组($P<0.001$); 100kV组及120kV组: AIDR算法各层面的主观评分均高于FBP组($P<0.001$); 三组AIDR算法各层面的平均SD值均小于FBP组($P<0.001$), CNR值均大于FBP组($P<0.001$)。**结论** 320排CT VHP技术联合迭代算法在管电压为80kV, 100kV, 120kV均能获得良好的图像质量, 相对于FBP组图像质量更高。80kV相对120kV可以适当减少对比剂用量, 100kV相对120kV可以适当降低辐射剂量。

【关键词】 320排CT; 可变螺距技术; 迭代算法
【中图分类号】 R445.3
【文献标识码】 A
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2021.12.019

Application Value of 320-Slice CT VHP Combined with Iterative Algorithm in Preoperative CTA of TAVR

XU Bing, ZHAO Bing-hui, ZHU Jie*, TIAN Bing, GONG Jing, WANG Min-jie.

Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Naval Military Medical University, Shanghai 200433

ABSTRACT

Objective To explore the application value of 320-slice CT VHP combined with the iterative algorithm in the preoperative evaluation of TAVR by analyzing the subjective and objective image quality of CTA in TAVR patients. **Methods** Patients who underwent aortic valve replacement in cardiovascular surgery were prospectively enrolled. All patients underwent preoperative 320-slice CT VHP for CTA examination. According to the random number method, they were divided into 80kV group, 100kV group, 120kV group. Contrastive agents for the three groups were 0.9mL/kg, 1.1mL/kg, and 1.2mL/kg body weight, respectively. The flow rates were 3, 3.5, and 4mL/s. AIDR and FBP algorithms were adopted for images of each group of patients, and six subgroups of images were finally obtained. The image quality of the three groups was compared. All data were analyzed using SPSS 21.0 statistical software, and $P<0.05$ indicated statistical significance. **Results** 32 participants in each group were enrolled in this study. There was no significant difference in general data between the three groups. In the 80kV group, the subjective scores of the AIDR algorithm in left and right common carotid artery and left and right femoral artery were higher than those in the FBP group ($P<0.001$). 100kV group and 120kV group: Subjective scores of AIDR algorithm at all levels were higher than those of FBP group ($P<0.001$); The average SD values of each layer of AIDR algorithm in the three groups were all lower than those in the FBP group ($P<0.001$), and the CNR values were all higher than those in the FBP group ($P<0.001$). **Conclusion** 320-slice CT VHP technology combined with an iterative algorithm can obtain good image quality in the tube voltage of 80kV, 100kV, and 120kV, and the image quality is higher than that of the FBP group. 80kV compared with 120kV can appropriately reduce the dosage of contrast agent, 100kV compared with 120kV can appropriately reduce the radiation dose.

Keywords: 320-Slice CT; Variable Pitch Technology; Iterative Algorithm

经导管主动脉瓣置换术(TAVR)是一项比较新的技术, 适用于不符合手术瓣膜置换术条件的重度AS患者^[1-2], 并已经应用到中等风险患者^[3-5]。TAVR在低手术风险患者中也被证明是非劣于常规手术治疗的方法, 可有效地为主动脉瓣狭窄患者提供一种新的手术方案选择^[6]。最近研究显示, CT血管成像作为“金标准”已经广泛应用于TAVR术前以及术后评估, 并得到了临床的证实^[7-9], 对减少围手术期并发症以及提高手术成功率有益。由于TAVR患者要进行大范围成像, 所以至少要求64层以上的CT。这些CT的空间分辨率约为0.5~0.6mm, 本研究采用的320排CT空间分辨率达到0.4mm, 并具备各向同性和快速体积覆盖的优点。东芝320排CT独有的VHP(variable helical pitch)技术在TAVR术前CTA中具备一定的价值, 并得到了本中心先前研究的验证^[10]。本研究分析在不同管电压条件下, 迭代算法与滤波反投影算法主、客观图像质量的差别。

1 材料与方法

1.1 一般资料 前瞻性纳入本院2016年1月至2020年12月符合纳入标准的严重主动脉瓣膜病变的96例患者行全主动脉CT血管成像(CTA)检查, 所有患者均采用VHP扫描法。纳入标准: 经临床确诊主动脉瓣病变; 年龄>60岁且预期寿命≥1年; 纽约心脏病协会(NYHA)心功能分级≥II级。排除标准: 既往有主动脉相关的外科手术及介入治疗; 甲状腺功能亢进、严重哮喘、对比剂过敏反应; 肾功能严重不全。其中男性54例, 女性42例, 年龄65~89岁, 中位年龄75岁, $17.59<\text{BMI}<31.12$ 。其中, A组NYHA心功能分级IV级7例, III级18例, II级7例, 合并有高血压者15例, 高脂

【第一作者】 许 兵, 男, 主管技师, 主要研究方向: 心血管。E-mail: aishanli0102@126.com

【通讯作者】 朱 洁, 女, 技师, 主要研究方向: 心血管。E-mail: 1427005338@qq.com

血症20例，糖尿病8例；B组：NYHA心功能分级Ⅳ级6例，Ⅲ级17例，Ⅱ级9例，合并有高血压19例，高脂血症18例，糖尿病8例；C组：NYHA心功能分级Ⅳ级8例，Ⅲ级16例，Ⅱ级8例，合并有高血压14例，高脂血症18例，糖尿病8例。所有患者均未服用倍他乐克和硝酸甘油片，以防止血流动力学改变，所有患者均签署知情同意书。

1.2 扫描方法及参数 所有患者的扫描采用320排CT机(Aqulion ONE，日本东芝公司)。对比剂注射采用双通道高压注射器(XD2001，德国Ulrich公司)，对比剂选用碘普罗胺注射液[370mg(I)/mL，德国拜耳公司]。使用20G留置针，注射部位常规选择右肘前静脉。A、B、C三组对比剂用量分别按照0.9mL/kg体重，流速3mL/s；1.1mL/kg体重，流速3.5mL/s；1.2mL/kg体重，流速4mL/s，注射完后以同样速度连续注射0.9%生理盐水40mL。

A组管电压为80kV，自动mA技术(100mA~580mA)，球管旋转时间0.35s/圈；心脏层面重建层厚0.5mm，层距0.3mm，大范围主动脉重建层厚1mm，间距0.8mm；心脏常规重建30%、40%、75%时相，时相不好时采取手动重建，卷积核为FC03，重建算法分别采用AIDR算法(standard等级)和FBP算法。扫描范围从下颌角到股骨中段水平，以保证各个路径全部显示。其中从下颌角至心底采用小螺距回顾性心电门控，心底至股骨中段水平采用大螺距非心电门控扫描模式。下颌角层面至心底螺距为0.18~0.2，准直为0.5×100mm，智能毫安等级选择“CTA”，心底至股骨中段水平螺距为1.11，智能毫安等级选择“lowdose”，准直为0.5×100mm。采用自动智能追踪模式，感兴趣区设置在升主动脉层面，阈值为160HU，当感兴趣区达到阈值后嘱咐患者吸气后屏气扫描。视野400mm，矩阵为512×512。B、C两组管电压分别为100kV、120kV，其余参数均同A组。A组分别使用迭代算法与滤波反投影法得到A1、A2两组数据；B组分别使用迭代算法与滤波反投影法得到B1、B2两组数据；C组分别使用迭代算法与滤波反投影法得到C1、C2两组数据。

1.3 主观图像质量评价 扫描完成后将原始数据传至东芝VITRE工作站软件行容积重建技术(VR)、多平面重组(MPR)、曲面重组(CPR)等后处理。由两位副主任医师对图像进行主观分析，当评分有分歧时由2人共同协商后达成一致。采用Likert5分制^[11]评定各血管图像伪影和噪声的存在及程度：1分：不能诊断，严重伪影；2分：较差、伪影重，但对评估心血管解剖结构、斑块和钙化有足够的对比度衰减；3分：一般、适度，不干扰对心脏和血管系统的全面评估；4分：良好，仅有较小的伪影，不干扰评估；5分：非常好，没有伪影或任何诊断干扰。

1.4 客观图像质量评价 测量双侧颈总动脉(下颌角层面)、升主动脉根部和双侧股动脉(股骨头下方10cm处)CT值、同层脊柱旁肌肉CT值、背景噪声(SD)，计算对比噪声比CNR(contrast-to-noise ratio)， $CNR=(\text{血管平均CT值}-\text{肌肉平均CT值})/SD$ 。测量感兴趣区时尽量大(大血管一般为2cm²，小血管一般为0.5cm²)并尽量避开钙化及密度不均的区域。

1.5 辐射剂量与对比剂用量 记录各组患者对比剂的用量并

记录机器自动生成的剂量长度乘积(dose—length product，DLP)，这里未包含正侧定位像及实时监测时产生的DLP，根据DLP计算有效剂量(effective dose，ED)， $ED=k \times DLP$ (k值采用欧盟委员会推荐的转换系数0.015^[12])。

1.6 统计学方法 采用SPSS 21.0统计软件对所有数据进行分析。计量数据若服从正态分布则采用($\bar{x} \pm s$)进行描述，否则采用中位数和范围进行描述；配对计量资料若服从正态分布则采用配对t检验，否则采用Wilcoxon符号秩和检验；若多组计量资料服从正态分布且满足方差齐性，则采用方差分析进行组间比较，进一步采用LSD进行两两比较，若不满足上述条件则采用非参数检验，进一步采用Nemenyi法或Keuls法进行两两比较；计数和等级资料的描述采用[n(%)]，计数资料采用 χ^2 检验进行组间比较，等级资料采用非参数检验(Kruskal-Wallis H)进行组间比较。P<0.05表示有统计学意义。

2 结果

2.1 CT扫描结果 96例患者扫描都获得了成功，各测量血管CT值均大约350HU；1例患者屏气欠佳经重建后升主动脉根部图像质量良好，5例心率不齐患者经重建后主动脉根部图像主观评分均达到4分以上，其余各层面主观评分均值都超过了3分。

2.2 一般资料对比 A、B、C三组患者之间的性别采用 χ^2 检验进行组间比较， $\chi^2=0.25$ ，P=0.88。三组之间性别差异无统计学意义。三组患者间年龄、BMI、心率、扫描时间满足正态分且方差齐性(χ^2 和P值分别为2.02、0.36/1.53、0.4/4.49、0.10/0.01、0.99)，采用方差分析，见表1。

表1 三组一般资料对比					
一般资料	80kV组	100kV组	120kV组	χ^2/F	P
男性(比例)	男18(56)	男19(59)	男17(53)	0.25	0.88
年龄(岁)	77.6±6.1	75.4±5.4	75.7±4.7	1.63	0.20
BMI(kg/m ²)	23.3±1.97	23.4±3.58	22.4±2.56	1.33	0.26
心率(次/分)	69.7±12.1	72.4±8.3	72.5±9.6	0.80	0.45
扫描时间(s)	14.9±0.8	14.6±0.7	14.8±0.8	0.21	0.81

2.3 三组主观图像质量评价 等级资料主观评分的比较采用Wiloxon符号秩检验。除A组升主动脉根部图像质量主观评分差异无统计学意义外，其余各组、各层面主观评分间差异均有统计学意义，可见迭代可提高图像的主观评分，见表2。

2.4 三组客观图像质量评价 各组CT值、CNR、SD值符合正态分布的，采用配对资料t检验，不符合配对资料t检验则采用符号秩和检验，Wilcoxon配对法。三组CT值之间的差异比较无统计学意义(P>0.05)；SD值和CNR之间的差异比较则有统计学意义(P<0.001)，见表3~5。A1组SD值小于A2组，B1组SD值小于B2组，C1组SD值小于C2组，可见迭代算法可明显降低SD值；A1组CNR大于A2组，B1组CNR大于B2组，C1组CNR大于C2组，可见迭代算法可增加CNR。

2.5 辐射剂量与对比剂用量 辐射剂量：DLP及ED在80kV与120kV组之间的差异无统计学意义(P>0.05)，但100kV组与

80kV、120kV组之间的差异均有统计学意义($P<0.05$)，100kV 无统计学意义($P>0.05$)；但80kV组与这两组之间的差异均有统计学意义($P<0.01$)；80kV组对比剂使用量显著少于100kV组和

对比剂用量：100kV与120kV组对比剂使用量之间的差异 120kV组，见表6。

表2 各部位图像组主观评分比较

部位	A组=32			
	A1	A2	Z值	P
左颈总动脉(分)	4.88±0.33(最高5, 最低4, 中位5)	3.16±0.51(最高5, 最低2, 中位3)	-5.16	<0.001
右颈总动脉(分)	4.75±0.36(最高5, 最低3, 中位5)	3.08±0.55(最高5, 最低2, 中位3)	-4.93	<0.001
升主动脉根部(分)	5±0.00(最高5, 最低5, 中位5)	5±0.00(最高5, 最低5, 中位5)	0	1
左股动脉(分)	4.94±0.25(最高5, 最低4, 中位5)	3.47±0.62(最高5, 最低3, 中位5)	-4.94	<0.001
右股动脉(分)	4.93±0.26(最高5, 最低4, 中位5)	3.45±0.64(最高5, 最低3, 中位4)	-5.13	<0.001

续表2

部位	B组=32			
	B1	B2	Z值	P
左颈总动脉(分)	4.81±0.39(最高5, 最低4, 中位5)	3.25±0.44(最高5, 最低3, 中位4)	-5.03	<0.001
右颈总动脉(分)	4.80±0.41(最高5, 最低4, 中位5)	3.30±0.46(最高5, 最低3, 中位4)	-5.15	<0.001
升主动脉根部(分)	4.97±0.18(最高5, 最低4, 中位5)	4.50±0.51(最高5, 最低4, 中位5)	-3.87	<0.001
左股动脉(分)	4.93±0.25(最高5, 最低4, 中位5)	4.28±0.68(最高5, 最低3, 中位4)	-4.07	<0.001
右股动脉(分)	4.94±0.26(最高5, 最低4, 中位5)	4.30±0.61(最高5, 最低3, 中位5)	-3.93	<0.001

续表2

部位	C组=32			
	C1	C2	Z值	P
左颈总动脉(分)	4.84±0.37(最高5, 最低4, 中位5)	3.84±0.99(最高5, 最低4, 中位4)	-4.05	<0.001
右颈总动脉(分)	4.80±0.42(最高5, 最低4, 中位5)	3.82±0.97(最高5, 最低3, 中位4)	-4.17	<0.001
升主动脉根部(分)	5±0.00(最高5, 最低5, 中位5)	4.34±0.48(最高5, 最低4, 中位4)	-4.58	<0.001
左股动脉(分)	4.84±0.37(最高5, 最低4, 中位5)	4.28±0.58(最高5, 最低3, 中位4)	-4.03	<0.001
右股动脉(分)	4.82±0.39(最高5, 最低4, 中位5)	4.26±0.55 0.62(最高5, 最低3, 中位4)	-4.15	<0.001

表3 80kV组各层面CT值、SD值和CNR组比较

指标部位	CT值			SD值			CNR		
	A1	A2	P	A1	A2	P	A1	A2	P
左颈总动脉	377.35±15.84	381.25±14.94	0.91	26.9(24.5, 29.9)	98.8(63.4, 132.1)	<0.001	17.33±4.75	4.78±1.96	<0.001
右颈总动脉	376.56±10.62	380.38±11.26	0.90	27.9(23.2, 28.92)	97.2(63.2, 133.6)	<0.001	17.78±4.40	4.46±1.89	<0.001
升主动脉根部	551.14±85.88	552.46±86.73	0.92	28.5(25.5, 30.3)	63.3(57.1, 68.9)	<0.001	24.3(14.28, 39.4)	7.7(5.37, 12.46)	<0.001
左股动脉	415.55±62.02	418.42±65.65	0.87	35.7(32.3, 37.5)	74.9(46.8, 90.3)	<0.001	18.60±7.89	3.77±0.89	<0.001
右股动脉	410.26±55.68	409.37±68.45	0.87	34.7(31.5, 36.75)	73.7(45.3, 91.2)	<0.001	18.48±7.28	3.67±0.88	<0.001

表4 100kV组各层面CT值、SD值和CNR组比较

指标部位	CT值			SD值			CNR		
	B1	B2	P	B1	B2	P	B1	B2	P
左颈总动脉	465.62±22.79	460.12±25.22	0.92	33.4(25.5, 47.5)	82.6(42.5, 113.1)	<0.001	26.1(23.52, 29.99)	7.3(3.64, 18.08)	<0.001
右颈总动脉	464.5±20.11	461.23±26.85	0.94	34.6(24.6, 47.3)	80.7(43.2, 114.3)	<0.001	26.7(24.32, 29.56)	7.2(3.56, 19.23)	<0.001
升主动脉根部	561.58±118.98	560.90±119.28	0.88	20.63±2.67	59.78±8.43	<0.001	40.9(33.19, 56.54)	8.4(5.88, 12.03)	<0.001
左股动脉	418.93±110.57	422.22±110.34	0.88	36.7(15.8, 62.8)	85.9(25.5, 142.5)	<0.001	25.24±7.92	8.20±5.87	<0.001
右股动脉	420.93±108.86	420.64±111.23	0.86	35.9(14.6, 63.7)	84.6(27.3, 144.3)	<0.001	25.36±7.81	8.38±5.94	<0.001

表5 120kV组各层面CT值、SD值和CNR组内比较

指标部位	CT值			SD值			CNR		
	C1	C2	P	C1	C2	P	C1	C2	P
左颈总动脉	504.50±77.99	497.47±83.12	0.91	15.3(13, 29.9)	44.7(44.2, 132.1)	<0.001	29.45±7.44	9.23±1.46	<0.001
右颈总动脉	500.73±60.78	499.76±79.63	0.92	16.5(12.8, 31.3)	46.4(45.2, 130.3)	<0.001	29.89±7.34	9.01±1.57	<0.001
升主动脉根部	542.59±66.86	543.14±66.14	0.88	22.16±7.95	47.12±17.03	<0.001	31.5(29.62, 39.45)	11.2(8.67, 13.82)	<0.001
左股动脉	491.47±22.82	498.36±16.84	0.91	26.5(20.1, 37.5)	63.5(35, 90.3)	<0.001	21.98±4.86	7.75±1.80	<0.001
右股动脉	490.83±23.46	499.10±15.71	0.89	24.1(19.4, 38.2)	64.1(34.2, 89.5)	<0.001	21.39±4.62	7.70±1.79	<0.001

表6 三组间辐射剂量及对比剂用量比较

指标	80kV组	100kV组	120kV组	F值	P
DLP(mGy*cm)	1096.88±155.2	963.02±137.9	1048.53±168.2	6.18	0.003
ED(mSv)	16.45	14.44	15.73	6.18	0.003
对比剂用量(mL)	57.7±9.01	71.8±10.37	75.2±11.08	20.95	<0.001

2.6 图像分析 典型病例图像见图1~2。

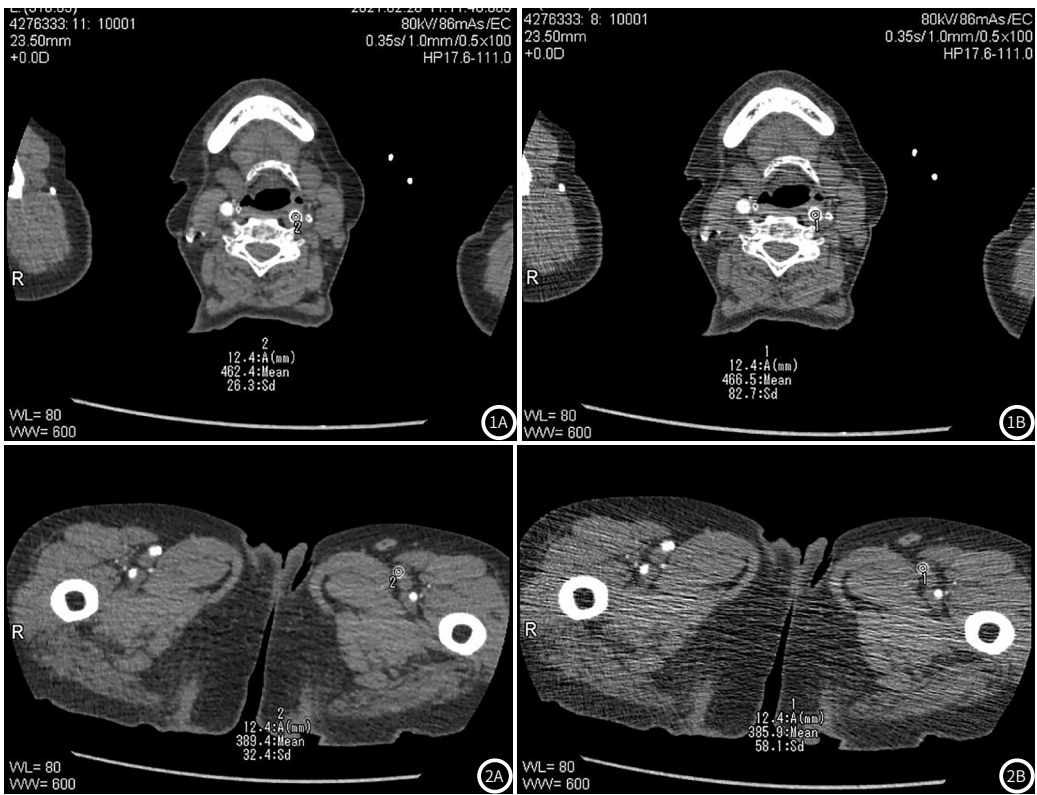


图1 80kV组一女性患者，75岁，迭代组(图1A)左侧颈总动脉SD值明显小于FBP组(图1B)，主观评分分别是5分、4分；
图2 80kV组一女性患者，75岁，左侧股动脉迭代组(图2A)SD值明显小于FBP组(图2B)，主观评分分别是5分、4分。

3 讨论

VHP是一种可以实现大小螺距相互切换的技术，一次覆盖大范围扫描，满足TAVR术前影像的要求^[10,13]。迭代算法广泛应用于TAVR术前CT心血管扫描中^[13-15]，结合低管电压、低管电流可以有效地降低辐射剂量。东芝320排CT具有三维自适应迭代重建算法(adaptive iterative dose reduction 3-dimensional, AIDR 3D)可以有效地降低图像噪声，改善图像质量。与传统的FBP相比，在不损失图像质量的前提下，AIDR 3D可以明显降低辐射剂量^[16]。然而，有学者^[17]研究发

现：过高的迭代重建级别产生的平滑效果会对CTA图像产生蜡样状伪影，可能掩盖部分病理改变，且图像重建速度偏慢。指南一般会推荐迭代权重比例为40%~60%，迭代不宜过大^[18-19]。基于此，本研究选择AIDR等级为“standard”模式。本研究中，通过联合迭代算法使得三组内的主动脉各层面及背景噪声减小，CNR值提高，这也与Suyudi等^[20]在主动脉上的研究结果一致。

本研究中，三组迭代算法组的图像明显好于FBP组，FBP组的SD值均大于迭代组且波动较大，CNR值均小于迭代组。80kV FBP组主动脉根部图像主观评分与迭代组相同，这可能

是由于80kV组使用了相对高的mA,在心电门控时由于螺距非常小导致mAs变大,图像质量就会提高。其余各组的主观评分均低于迭代组。FBP组颈动脉的主观评分相对较低,这可能是患者检查时双手上举导致80kV的X射线穿透力不足造成的图像质量不佳。当然,这些大血管的CT值均高于350HU且主观评分平均都在3分以上,完全可满足TAVR术前对于CT血管造影的要求。

CNR是一项非常客观的指标。根据Karaca等^[21]的标准:高图像质量CNR>8,中等图像质量CNR在4-8,CNR<4的情况下图像质量差。本研究中升主动脉根部迭代组CNR均值都大于24,左、右颈总动脉迭代组CNR均值都大于17,在左、右股动脉迭代组也都大于18,可见迭代算法可以显著提高血管的图像质量。在FBP组左、右颈总动脉,左、右股动脉CNR值较低,且有部分组别CNR均值小于4的。可见,迭代算法组与FBP组在颈总动脉与股动脉处图像质量有更加明显差别,在颈总动脉处可能与患者双手上举有关;在股动脉处可能与我们采用了“lowdose”模式有关。

综上所述,320排CT VHP技术80kV相对120kV可以适当减少对比剂用量,100kV相对120kV可以适当降低辐射剂量。然而,无论80kV、100kV还是120kV迭代算法主、客观图像质量总体优于FBP组。本研究也有很多不足和局限性,主要为(1)VHP为东芝CT特有的采集技术,并不适合所有机型;(2)患者例数太少,可能会造成结果的偏差。

参考文献

- [1] Yucel-Finn A, Nicol E, Leipsic J A, et al. CT in planning transcatheter aortic valve implantation procedures and risk assessment [J]. Clin Radiol, 2021, 76 (1): 73. e1-73. e19.
- [2] Kapadia S R, Leon M B, Makkar R R, et al. 5-year outcomes of transcatheter aortic valve replacement compared with standard treatment for patients with inoperable aortic stenosis (PARTNER1): A randomised controlled trial [J]. Lancet, 2015, 385 (9986): 2485-2491.
- [3] Cribier A, Durand E, Eltchaninoff H, et al. Patient selection for TAVI in 2014: Is it justified to treat low-or intermediate-risk patients? The cardiologist's view [J]. EuroIntervention, 2014, 10 (Suppl U): U16-U21.
- [4] Leon M B, Smith C R, Mack M J, et al. Transcatheter or surgical aortic-valve replacement in intermediate-risk patients [J]. N Engl J Med, 2016, 374: 1609-1620.
- [5] Thourani V H, Kodali S, Makkar R R, et al. Transcatheter aortic valve replacement versus surgical valve replacement in intermediate-risk patients: A propensity score analysis [J]. Lancet, 2016, 387: 2218-2225.
- [6] Popma J J, Deeb G M, Yakubov S J, et al. Transcatheter aortic-valve replacement with a self-expanding valve in low-risk patients [J]. N Engl J Med, 2019, 380 (18): 1706-1715.
- [7] Breitbart P, Pache G, Minners J, et al. Predictors for low TAVI-prosthesis position assessed by fusion imaging of pre-and post-procedural CT angiography [J]. Clin Res Cardiol, 2021, 110 (1): 93-101.
- [8] Chiocchi M, Forcina M, Morosetti D, et al. The role of computed tomography in the planning of transcatheter aortic valve implantation [J]. J Cardiovasc Med, 2018, 19 (10): 571-578.
- [9] Takaoka H, Kitahara H, Ota J, et al. Utility of computed tomography in cases of aortic valve stenosis before and after transcatheter aortic valve implantation [J]. Cardiovasc Interv Ther, 2020, 35 (1): 72-84.
- [10] 许兵, 尹伟, 王敏杰, 等. 320排CT可变螺距采集技术在经导管主动脉瓣置换术术前评估中的应用 [J]. 中国临床医学, 2019, 26 (4): 602-605.
- [11] Shin N, Kim S M, Choe Y H. Protocol using wide-detector CT with single contrast injection for the aorta and coronary artery: Variable helical pitch versus volume scan following helical scan [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2019, 35 (10): 1935-1942.
- [12] Shrimpton P. Assessment of patient dose in CT. Appendix c, European guidelines for multi-slice computed tomography funded by the European commission 2004: Contract number FIGMCT 2000-20078-CT-TIP [M]. Luxembourg: European commission, 2004.
- [13] Matsumoto S, Yamada Y, Hashimoto M, et al. CT imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI) using variable helical pitch scanning and its diagnostic performance for coronary artery disease [J]. Eur Radiol, 2017, 27 (5): 1963-1970.
- [14] Strong C, Ferreira A, Teles R C, et al. Diagnostic accuracy of computed tomography angiography for the exclusion of coronary artery disease in candidates for transcatheter aortic valve implantation [J]. Sci Rep, 2019, 9 (1): 19942.
- [15] 严辉峰, 张丽, 张照涛, 等. 双源CT大螺距、低管电压扫描联合迭代重建技术在经导管主动脉瓣置换术术前评估中的应用价值 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2017, 37 (2): 149-154.
- [16] Gervaise A, Osemint B, Lecocq S, et al. CT image quality improvement using adaptive iterative dose reduction with wide-volume acquisition on 320-detector CT [J]. Eur Radiol, 2012, 22 (2): 295-301.
- [17] Rampado O, Marchisio F, Izzo A, et al. Ropolo (2009). Effective dose and image quality evaluations of an automatic CT tube current modulation system with an anthropomorphic phantom [J]. Eur J Radiol, 2009, 72 (1): 181-187.
- [18] Si Mohamed S, Greffier J, Bobbia X, et al. Diagnostic performance of a low dose triple rule-out CT angiography using SAFIRE in emergency department [J]. Diagn Interv Imaging, 2017, 98 (12): 881-891.
- [19] 中华医学会影像技术分会. 急性胸痛三联征多层螺旋CT检查技术专家共识. 中华放射学杂志, 2021, 55 (1): 12-18.
- [20] Suyudi I, Anam C, Sutanto H, et al. Comparisons of hounsfield unit linearity between images reconstructed using an adaptive iterative dose reduction (AIDR) and a filter back-projection (FBP) techniques [J]. J Biomed Phys Eng, 2020, 10 (2): 215-224.
- [21] Karaca M, Kirilmaz A, Oncel G, et al. Contrast-enhanced 64-slice computed tomography in detection and evaluation of anomalous coronary arteries [J]. Tohoku J Exp Med, 2007, 213 (3): 249-259.

(收稿日期: 2021-04-07)