

论 著

迭代重建算法在冠状动脉支架CT血管成像中的应用研究*

李才林* 刘 衡 范奇文
遵义医科大学附属医院医学影像科
(贵州 遵义 563000)

【摘要】目的 探究迭代重建算法在冠状动脉支架CT血管成像中的应用研究。方法 选取2016年12月至2018年12月在我院行冠状动脉检查的冠心病患者(支架置入术后评估)共100例,在120kV管电压下分别采用传统滤波反投影法(FBP)及迭代重建算法(Siemens definition flash DSCT双源CT机, SAFIRE)进行图像重建,对比分析两组图像噪声(SD)、信号噪声比(SNR)、对比噪声比(CNR)以及双源CT在不同心率、支架直径、支架分布下的敏感性、特异性、阳性预测值和阴性预测值。结果 IR图像质量明显高于FBP图像($P<0.05$); IR图像的SD明显低于FBP图像,且SNR、CNR明显高于FBP图像($P<0.05$);同时,多层螺旋CT对不同支架直径的冠状动脉狭窄诊断有明显差异性($P<0.05$)而对不同心率、支架分布的诊断无明显差异($P>0.05$)。结论 迭代重建算法在冠状动脉支架血管成像中能明显提高图像质量,降低图像噪声并显著提高信噪比与对比噪声比,能够准确诊断冠状动脉的狭窄病变,值得临床上大力推广应用。

【关键词】迭代重建算法; 冠状动脉; 支架; CT血管成像; 应用研究

【中图分类号】R816.2

【文献标识码】A

【基金项目】贵州省科技计划项目
(黔科合LH字[2017]7118号)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2022.10.019

Application of Iterative Reconstruction Algorithm in CT Angiography of Coronary Stent*

Li Cai-lin*, Liu Heng, Fan Qi-wen.

Department of medical imaging, Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, Guizhou Province, China

ABSTRACT

Objective to explore the application of iterative reconstruction algorithm in CT angiography of Coronary stent. **Methods** a total of 100 patients with coronary heart disease in our hospital from December 2016 to December 2018 were selected, under 120 kv tube voltage applied traditional filter back projection place (FBP) and iterative reconstruction algorithm (Siemens definition Flash DSCT, SAFIRE) image reconstruction, observing the image quality of two groups of patients and subjective rating, compared two groups of image noise (SD), signal to noise ratio (SNR), contrast to noise ratio (CNR) and dual-source CT under different heart rate, stents, the diameter distribution of sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value. **Results** the image quality of the IR image was significantly higher than that of the FBP image ($P<0.05$). The SD of the IR image was significantly lower than the FBP image, and SNR and CNR were significantly higher than the FBP image ($P<0.05$). At the same time, the diagnosis of coronary artery stenosis with different stent diameters was significantly different ($P<0.05$), and there was no significant difference in the diagnosis of different heart rate and stent distribution ($P>0.05$). **Conclusion** iterative reconstruction algorithm can significantly improve the quality of images, and significantly improve the signal-to-noise ratio and reduce image noise contrast to noise ratio, can accurate diagnosis of stenosis of coronary artery lesions, is worth promoting clinical application.

Keywords: Iterative Reconstruction Algorithm; Coronary Artery; Stent; CT Angiography; Application Research On

目前,对冠心病患者进行治疗的有效手段是进行冠状动脉支架植入术,但是术后还需要对患者进行多次随访,对冠状动脉支架情况进行准确评估。冠状动脉造影可以对支架植入情况进行评估,但其存在辐射大、治疗费用昂贵、创伤较大的弊端,临床上并不推荐使用。CT血管造影能够通过非侵入性操作对冠状动脉的狭窄病变进行诊断,且具有较高的敏感性与特异性,并且结合迭代重建算法重建图像与传统滤波反投影重建图像相比,具有图像质量高、噪声小、减少伪影等优势,是目前诊断冠状动脉狭窄病变的理想影像学方法^[1]。本次研究着重探讨迭代重建算法在冠状动脉支架CT血管成像中的应用价值,诊断效果理想,现详细总结如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取在我院行冠状动脉检查的冠心病患者(支架置入术后评估)共100例,入选时间为2016年12月至2018年12月,本研究获得了医院伦理委员会的批准,入选患者均签署本次研究的知情同意书。

入选标准为:本次纳入的100例研究对象均为临床认为需要进行冠状动脉支架置入术后评估的患者;排除标准为:肝肾功能不全者、已行冠状动脉搭桥手术者、心律失常者、心功能衰竭者、患有精神疾病不能配合治疗者以及对碘对比剂禁忌者;本组研究对象男性48例,女性52例,年龄36~82岁,平均年龄(55.2 ± 3.5)岁,有8例陈旧性心肌梗死,5例稳定性心绞痛,7例急性心肌梗死。

1.2 方法 本次研究采用的是Siemens definition Flash DSCT双源CT机进行扫描(),把气管分叉下方的1~1.5cm处至患者的心脏膈面作为扫描的范围。使用德国Ulrich高压注射器将50~65mL的对比剂碘海醇以4~5mL/s的速率将其静脉注入到患者的肘正中静脉,然后立即再以同样的速率静脉注射50ml生理盐水^[2]。为了监测CT值,采用对比剂示踪法,于主动脉的根部层面利用ROI进行监测,一旦监测的CT值达到100HU时,便会延迟7秒然后自动触发进行扫描。可以使用心电门控技术,根据心率情况能够对曝光窗的宽度自动设定,设定扫描参数:扫描层厚0.75mm、准直 128×0.6 mm、自动进行螺距的设定(范围0.2~0.4)、旋转时间0.28s、120kV的管电压、252~310mAs的管电流。当冠状动脉达到显示的最佳期相,即伪影的最小期相时,开始进行图像的重建^[3]。

1.2.1 传统滤波反投影(filtered back projection, FBP) 图像重建选用I26f的卷积核,重建层厚0.75mm,重建的间隔为0.5mm,将重建结束的图像数据传输至进行独立工作的后处理工作站,使用Circulation和3D等技术软件进行进一步图像处理,包括MPR、CPR、MIP及VR^[4]。

1.2.2 迭代重建算法(sonogram-affirmed iterative reconstruction, SAFIRE) 图像重建强度为3,卷积核I46f,重建层厚0.75mm,重建间隔为0.5mm,重建结束后的处理同

【第一作者】李才林,男,副主任医师,主要研究方向:CT, MRI诊断。E-mail: jinsong11@126.com

【通讯作者】李才林

FBP重建图像组一致^[3]。

1.2.3 本研究的100例患者中有31(49枚支架)例进行CAG检查,均在接受冠脉CT血管成像检查后1~14d内行冠状动脉造影检查。采用德国西门子Angiostar数字减影血管造影机,患者取仰卧位,局部浸润麻醉后,采用Seldinger法常规经股动脉穿刺,行选择性冠状动脉造影,显示左主干、左前降支、左回旋支、右冠状动脉。判断支架内再狭窄的依据为:支架内的管腔直径缩小程度 $\geq 50\%$ 。双源CT对支架内再狭窄的评估:两名经验丰富的高年资医师采用双盲法独立阅片,对每个支架置入部位的最大腔径狭窄百分比进行测量,意见不一致时讨论后达成一致,应用横断面直径估算狭窄程度,评估范围为支架近/远端3~5mm处,管腔内显影为唯一标准,无显影判断为闭塞,公式:管腔狭窄程度=(狭窄处近心端血管直径-狭窄处血管直径)/狭窄处近心端血管直径 $\times 100\%$ 。

1.3 疗效判断标准 对图像质量进行主观评分,评分标准为,1分:无法清楚显示支架和支架内管腔,多个节段走形不连续、中断,图像质量较差,对支架内情况无法进行评估;2分:支架和支架内管腔显示的清晰度欠佳,能够看到较多伪影且图像质量处于一般水平,对支架内管腔的观察造成了一定程度的影响;3分:支架清晰可见,伪影减少,图像质量较高,但支架内管腔显示效果欠佳,对其观察有轻微影响;4分:支架和支架内管腔均能清晰可见,无明显伪影,图像质量优良^[5]。

在左冠状动脉发出层面测量主动脉根部CT值(CT主动脉)及噪声值(SD主动脉),感兴趣区域(ROI)应相当于血管截面80%的面积:选择支架管腔显示最清晰层面,将ROI放置于支架腔内测量支架腔内CT值(CT支架腔内)及噪声值(SD支架腔内),ROI应避免支架壁的影响;测量支架近端冠状动脉的CT值(CT冠状动脉)和噪声值(SD冠状动脉),圆形ROI直径应相当于血管直径的80%。并避开周围心肌及脂肪的干扰。根据测量的数据计算信噪比和对比噪声比:SNR=CT支架腔内/SD支架腔内,CNR=(CT支架腔内-CT冠状动脉)/SD冠状动脉^[5]。

判断支架内再狭窄的依据为:支架内的管腔直径缩小程度 $\geq 50\%$ 。以冠状动脉造影为“金标准”,对采用双源CT血管迭代重建算法重建图像诊断冠状动脉狭窄病变及其支架情况的敏感性、特异性、阳性预测值和阴性预测值进行评价^[6]。

1.4 统计学方法 数据统计应用SPSS 18.0软件分析,计数资料比较应用 χ^2 (%)检验,计量资料比较采用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,组间比较采用t检验, $P < 0.05$ 为有统计学意义。

2 结果

2.1 两组图像质量对比 IR重建图像质量明显高于FBP重建图像($P < 0.05$),见下表1、图A~图C。

2.2 两组图像的SD、SNR、CNR对比 IR重建图像的SD明显低于FBP重建图像,且SNR(signal noise ratio)、CNR(contrast-to-noise ratio)明显高于FBP重建图像($P < 0.05$),见下表2。

2.3 多层螺旋CT对不同心率、支架直径以及支架分布状态的冠状动脉狭窄诊断对比 本次研究中对31例患者共49枚支架进行CAG检查,其中药物支架40枚,金属支架9枚;小于2.75mm支架10枚,3.0mm支架28枚,大于3.5mm支架11枚;重叠支

架(或分叉部支架)3枚,单支架46枚。CAG检查检查结果,支架内再狭窄率30.6%(15/49),心率 ≥ 70 次/min支架再狭窄率22.6%(7/31),心率 < 70 次/min再狭窄率44.4%(8/18),统计学无明显差异($P > 0.05$);重叠或分叉部支架再狭窄率33.3%(1/3),单支架再狭窄率30.4%(14/46),无统计学差异($P > 0.05$);支架直径 ≥ 3.5 mm、 $= 3$ mm、 ≤ 2.75 mm再狭窄率分别为30%(3/10)、28.6%(8/28)、36.4%(4/11),无统计学差异($P > 0.05$);CT检查结果,心率 < 70 次/min支架内再狭窄真阳性7例、真阴性9例、假阳性1例、假阴性1例,心率 ≥ 70 次/min支架再狭窄真阳性6例、真阴性22例、假阳性2例、假阴性1例;重叠支架或分叉部支架再狭窄真阳性1例、真阴性2例、假阳性0例、假阴性0例,单支架再狭窄真阳性13例、真阴性30例、假阳性2例、假阴性1例;支架直径 ≥ 3.5 mm再狭窄真阳性3例、真阴性7例、假阳性0例、假阴性0例,支架直径 $= 3.0$ mm再狭窄真阳性7例、真阴性19例、假阳性2例、假阴性1例,支架直径 ≤ 2.75 mm再狭窄真阳性3例、真阴性4例、假阳性3例、假阴性1例;各项敏感性、特异性、真性预测值、假性预测值统计见表3,其中敏感性=真阳性/(真阳性+假阴性)、特异性=真阴性/(真阴性+假阳性)、阳性预测值=真阳性/(真阳性+假阳性)、阴性预测值=真阴性/(真阴性+假阴性),多层螺旋CT对不同支架直径的冠状动脉狭窄诊断有明显差异性($P < 0.05$)。

3 讨论

对支架内再狭窄病变的评估首选的手段是冠状动脉造影术,但昂贵的治疗费用以及出现的严重并发症使其应用受到了限制^[7]。因此,应该寻求一种有效的前期筛查技术,使其能够在不同心率、不同直径支架以及不同支架分布等临床情况下均可以对行冠状动脉支架的术后患者进行诊断显得尤为重要。本次研究,采用了两种图像重建技术,传统滤波反投影图像重建与迭代重建算法图像重建,且研究结果显示,迭代重建算法具有更高的图像质量,能显著减少伪影,使得图像显示更为清晰,便于医务人员诊断,具体表现在迭代重建图像质量明显高于传统滤波反投影图像重建图

表1 FBP和SAFIRE两组重建图像质量对比

组别	例数	图像质量评分
FBP图像	100	3.12 $\pm$ 0.31
IR图像	100	3.65 $\pm$ 0.25
T	/	18.524
P	/	<0.05

表2 FBP和SAFIRE两组重建图像的SD、SNR、CNR对比

组别	例数	SD/Hu	SNR	CNR
FBP图像	100	32.5 $\pm$ 4.2	7.5 $\pm$ 3.8	8.1 $\pm$ 3.5
IR图像	100	25.6 $\pm$ 3.8	13.2 $\pm$ 5.8	12.7 $\pm$ 5.0
T	/	19.528	17.634	14.349
P	/	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$

表3 双源CT对不同心率、支架直径以及支架分布状态的冠状动脉狭窄诊断对比

项目	敏感性(%)	特异性(%)	阳性预测值(%)	阴性预测值(%)
心率 < 70 次/min	88	90	88	90
心率 ≥ 70 次/min	86	92	75	96
分叉部位支架和重叠支架	100	100	100	100
单支架	93	94	87	97
支架直径 ≥ 3.5 mm	100	100	100	100
支架直径 $= 3$ mm	88	90	78	95
支架直径 ≤ 2.75 mm	75	57	50	80

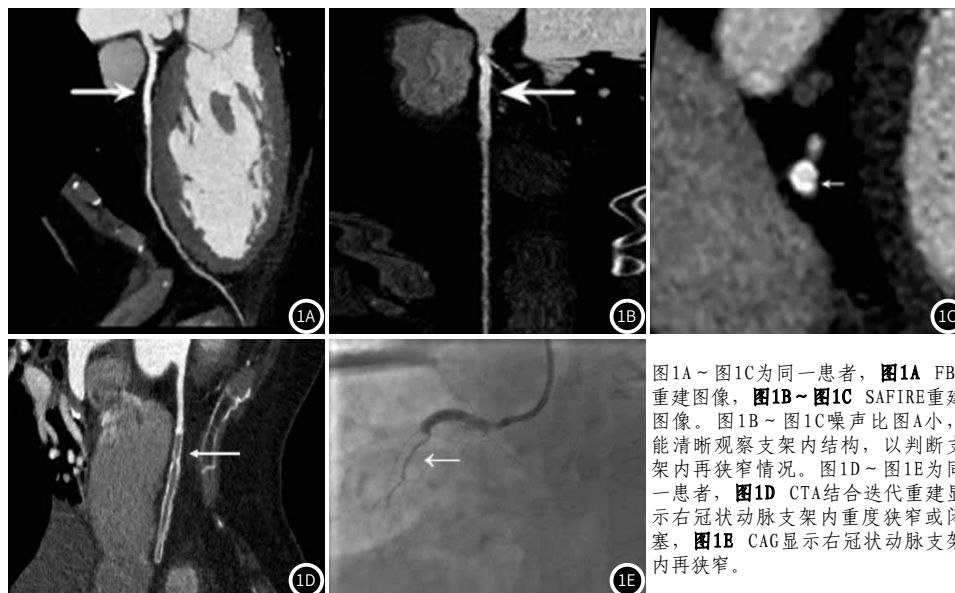


图1A~图1C为同一患者，图1A FBP重建图像，图1B~图1C SAFIRE重建图像。图1B~图1C噪声比图A小，能清晰观察支架内结构，以判断支架内再狭窄情况。图1D~图1E为同一患者，图1D CTA结合迭代重建显示右冠状动脉支架内重度狭窄或闭塞，图1E CAG显示右冠状动脉支架内再狭窄。

像($P<0.05$)。CT图像质量的主要影响因素包括：(1)检查过程中需要患者先深吸一口气后止住呼吸，因此患者的配合程度是主要影响因素之一。(2)多方位重建功能，该功能能够提高图像的时间分辨率以及空间分辨率，不仅可以显示冠状动脉的形态，还能根据血管的截面积计算出血管的狭窄程度^[8]。(3)注射速率、对比剂浓度、扫描时相选择、扫描延时时间等扫描参数设定的合理性。因此，在进行双源CT图像重建时也应注意以上因素，从而更好地提高图像质量。

相关研究表明，迭代重建算法还能够明显降低射束硬化伪影与图像噪声，提高信噪比以及降低有效辐射剂量，进一步凸显了迭代重建算法的优越性^[9]。由于影响冠状动脉支架评估的关键因素是重建图像时产生的射束硬化伪影，因此本次研究通过对比传统滤波反投影与迭代重建算法重建图像的差异，进一步证明了迭代重建算法的可行性。本次研究结果显示，IR重建图像的SD明显低于FBP重建图像，且SNR、CNR明显高于FBP重建图像($P<0.05$)，相关报道称，常规CT进行扫描时，会增加图像的噪声和冠状动脉支架伪影，而本次研究采用迭代重建算法重建图像能够较好的规避该问题^[10]，从而更好的反映冠状动脉支架内情况。

本次研究结果显示，在无 β 受体阻滞剂使用的前提下，迭代算法重建图像能准确诊断冠状动脉支架内狭窄具有一定的可行性^[11]，对于支架术后有症状出现的患者，通过迭代重建算法对心率70次/min和心率<70次/min的患者发生支架内狭窄的特异性、敏感性、阳性预测值和阴性预测值无明显差异($P>0.05$)，提示我们不同心率状态对CTA诊断支架内狭窄无明显影响，可行性较强。同时，若患者的心率较快，行多层螺旋CT扫描还可以有效减少辐射，心率越快，就会明显增加多层螺旋CT的扫描速度，从而有效缩短扫描的时间，达到减少辐射的目的^[12]。本次研究结果表明，CT对不同支架分布的特异性、敏感性、阳性预测值和阴性预测值无明显差异($P>0.05$)，支架分布状态有分叉部位支架、重叠支架和单支架3种，由于分叉部位支架和重叠支架的狭窄率比单支架要高，所以便有可能高估对分叉部位支架和重叠支架诊断的敏感性，本次研究中这类支架样本数较少，结果误差较大，我们将在后续研究加以补足。支架直径对CT迭代重建的诊断有重要影响，对低心率者行冠状动脉造影，有一半的患者将无法判断支架情况，但应用CT诊断便可减少不可评估的支架情况，且支架发生假阴性的概率较低。若支架直径 $\leq 2.75\text{mm}$ ，进行CT诊断时出现假阳性的概率便会较高，从而对冠状动脉狭窄的真实性存在怀疑^[13]。本次研究结果显示，CT对不同支架直径的冠状动脉狭窄诊断有明显差异性($P<0.05$)，且诊断大直径的支架再狭窄的准确率更高。相关报道称^[14]，当支架直径<3mm时，有6.1%的误诊率，当

支架直径为3mm时，有1.6%的误诊率，当支架直径<3mm时，有12%的误诊率，有多种原因会导致结果产生差异，本次研究基本与之相符。因此，CT血管迭代重建算法对支架内再狭窄有较好的诊断性能，能够不受不同心率和不同支架分布的影响，是一种有效的诊断手段。

综上所述，CT血管迭代重建算法能明显提高图像质量，降低图像噪声并显著提高信噪比与对比噪声比，能够准确诊断冠状动脉的狭窄病变，值得临床上大力推广应用。

参考文献

- [1] 管学春, 柯红红, 黄仲奎, 等. 迭代重建冠状动脉CTA评估冠状动脉支架的临床研究[J]. 临床放射学杂志, 2018, 37(1): 135-138.
- [2] 汤振华. 迭代重建算法在双源CT三低方案冠状动脉血管成像中的应用价值[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2017, 37(3): 231-236.
- [3] 李妍, 金士琪, 多国帅, 等. 迭代重建算法联合不同卷积核应用于冠脉双低扫描支架显示的比较研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2019, 30(2): 109-113.
- [4] MINTZ G S, WEISSMAN N J, TEIRSTEIN P S, et al. Effect of intracoronary gamma-radiation therapy on in-stent restenosis: An intravascular ultrasound analysis from the gamma-1 study[J]. Circulation, 2000, 102(24): 2915-2918.
- [5] 杜恒鑫, 侯阳, 王一婧, 等. 全模型迭代重建技术对低剂量CT冠状动脉支架显示的初步研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2019, 30(1): 57-60.
- [6] 金士琪, 王彦懿, 杨帆, 等. 集成电子探测器联合迭代重建技术不同层厚重建对冠脉支架显示的影响: 体外实验研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2016, 27(7): 467-470.
- [7] 王彦懿, 初金钢, 于扬, 等. 不同迭代重建强度对冠状动脉小内径支架显示影响的体外实验[J]. 中国医学影像技术, 2015, 31(8): 1271-1275.
- [8] YAMADA Y, JINZAKI M, HOSOKAWA T, et al. Abdominal CT: an intra-individual comparison between virtual monochromatic spectral and polychromatic 120-kVp images obtained during the same examination[J]. Eur J Radiol, 2014, 83(10): 1715-1722.
- [9] 徐锋, 卜元园, 邹宝明, 等. 双源CT与冠状动脉造影评估冠状动脉狭窄对照研究[J]. 介入放射学杂志, 2015, 24(12): 1044-1046.
- [10] 沈俊林, 杜祥颖, 李坤成. 迭代重建技术的进展及其在冠状动脉CT血管成像中的应用[J]. 国际医学放射学杂志, 2012, 35(6): 562-565.
- [11] LV P, LIU J, CHAI Y, et al. Automatic spectral imaging protocol selection and iterative reconstruction in abdominal CT with reduced contrast agent dose: initial experience[J]. Eur Radiol, 2017, 27(1): 374-383.
- [12] 赵春荣, 徐磊, 范占明, 等. 低管电压结合迭代重建成像对冠状动脉支架评价的心脏体模研究[J]. 心肺血管病杂志, 2016, 35(4): 309-312.
- [13] 羊镇宇, 王强, 郭素峡, 等. 双源CT在冠状动脉支架内再狭窄诊断中的价值[J]. 中华心血管病杂志, 2011, 39(1): 49-52.
- [14] 王怡宁, 曹剑, 孔令燕, 等. 高灵敏度探测器结合迭代重建在低管电压冠状动脉CT血管成像的价值[J]. 中华放射学杂志, 2014, 48(2): 109-113.

(收稿日期: 2020-05-10)

(校对编辑: 阮 靖)