

· 临床研究 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.01.002

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20231201.1013.002\(2023-12-01\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20231201.1013.002(2023-12-01))

低管电压和低对比剂联合 IMR 技术在椎动脉 V3 段 3DCTA 中的可行性研究*

杨君琳, 翟笃昌, 周秀智, 刘蓉, 范国华, 蔡武[△]
(苏州大学附属第二医院影像科, 江苏苏州 215004)

[摘要] **目的** 探讨低管电压自动管电流调节(ATCM)和低对比剂浓度、剂量及注射速率联合全模型迭代重建(IMR)技术在椎动脉 V3 段三维 CT 血管成像(3DCTA)中的可行性。**方法** 选取该院 2019 年 11 月至 2020 年 5 月临床怀疑上颈椎、颅颈交界区病变而行颈部椎动脉 V3 段 3DCTA 的患者 60 例,采用随机数字表法将患者分成 A、B 两组,每组各 30 例。A 组采用 80 kV、平均管电流为 50 mAs 的 ATCM 技术,25 mL 注射速率为 3 mL/s 的对比剂碘海醇(碘含量 300 mg/mL)联合 IMR 技术进行检查;B 组采用 120 kV、150 mAs 固定管电流,50 mL 注射速率为 5 mL/s 的对比剂碘帕醇(碘含量 370 mg/mL)联合滤波反投影(FBP)重建技术进行检查。测量并比较两组 CT 值、噪声、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)、图像敏感度(FOM),并对所得图像的质量进行评价。记录 CT 容积剂量指数(CTDIvol)及剂量长度乘积(DLP),计算有效剂量(ED)。**结果** 两组图像椎动脉的 CT 值比较差异无统计学意义($P>0.05$);但 A 组噪声小于 B 组($P<0.05$),A 组 SNR、CNR 及 FOM 均大于 B 组($P<0.05$)。两组图像质量[(4.78±0.41)分 vs. (4.85±0.35)分]均满足临床诊断要求,图像质量主观评价差异无统计学意义($P>0.05$)。A 组 CTDIvol、DLP、ED 均低于 B 组($P<0.05$)。A、B 组对比剂碘摄入量分别为 7.5、18.5 g,对比剂碘流率分别为 0.9、1.85 mg/s,与 B 组比较,A 组碘摄入量及碘流率分别下降了 59.5%、51.4%。**结论** 低管电压 ATCM 和低对比剂浓度、剂量及注射速率联合 IMR 技术不仅可保证椎动脉 V3 段 3DCTA 图像质量,也减少了患者所接受的辐射剂量,降低了对比剂碘摄入量及碘流率。

[关键词] CT 血管造影;辐射剂量;对比剂;椎动脉 V3 段;全模型迭代重建技术

[中图法分类号] R445.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)01-0005-06

Feasibility study of low tube voltage and low contrast medium combined with IMR technology in 3DCTA of vertebral artery V3 segment*

YANG Junlin, ZHAI Duchang, ZHOU Xiuzhi, LIU Rong, FAN Guohua, CAI Wu[△]
(Department of Imaging, Second Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215004, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the feasibility of low-voltage, automatic tube current adjustment (ATCM) and low contrast agent concentration, dose and injection rate combined with full-model iterative reconstruction (IMR) in vertebral artery V3-segment three-dimensional CT angiography (3DCTA). **Methods** A total of 60 patients with suspected upper cervical spine, craniocervical junction lesions undergoing cervical vertebral artery V3 segment 3DCTA in this hospital from November 2019 to May 2020 were selected and divided into the group A and B by adopting the random number table method, 30 cases in each group. The group A adopted the ATCM technology of 80 kV, average tube current of 50 mAs, 25 mL of contrast agent iohexol (iodine content 300 mg/mL) combined IMR technology with an injection rate of 3 mL/s, while the group B adopted 120 kV, 150 mAs fixed tube current, 50 mL injection rate of 5 mL/s contrast agent iopamidol (iodine content 370 mg/mL) combined filter back projection (FBP) reconstruction technology. CT value, noise, signal-to-noise ratio (SNR), contrast noise ratio (CNR) and image sensitivity (FOM) were measured

* 基金项目: 省部共建放射医学与辐射防护国家重点实验室开放课题项目(GZK1202136); 中核医疗“核医科技创新”计划资助项目(ZHY-LYB2021006); 江苏省苏州市卫生青年骨干人才“全国导师制”培训项目(Qngg2021006); 江苏省苏州市姑苏卫生人才计划科研项目(GSWS2021025); 江苏省苏州市科技发展计划项目(SKY2022049); 江苏省苏州市医学会“影像医星”科技立项面上项目(2022YX-M05); 苏州大学附属第二医院学科建设托举工程核技术医学应用项目(XKTJ-HRC20210010); 苏州大学附属第二医院预研基金项目(SDFEYBS1904)。△ 通信作者, E-mail: xwg608@126.com。

and compared between the two groups and the quality of the resulting images was evaluated. The CT volumetric dose index (CTDIvol) and dose-length product (DLP) were recorded, and the effective dose (ED) was calculated. **Results** There was no statistically significant difference in the vertebral arterial CT value between the two groups ($P > 0.05$), but the noise of the group A was lower than that of the group B ($P < 0.05$), SNR, CNR and FOM of the group A were greater than those of the group B ($P < 0.05$). The image quality of the two groups met the requirements of clinical diagnosis [(4.78 ± 0.41) points vs. (4.85 ± 0.35) points], and there was no statistically significant difference in the subjective evaluation of image quality ($P > 0.05$). The CTDIvol, DLP and ED levels in the group A were lower than those in the group B ($P < 0.05$). The iodine intakes of contrast medium in the group A and group B were 7.5 g and 18.5 g, respectively, and the iodine flow rates of contrast agent were 0.9 and 1.85 mg/s, respectively, and compared with group B, the iodine intake and iodine flow rate of the group A were decreased by 59.5% and 51.4%, respectively. **Conclusion** Low tube voltage ATCM and low contrast concentration, dose and injection rate combined with IMR technology can not only ensure the 3DCTA image quality of vertebral artery V3 segment, but also reduce the radiation dose received by the patients, and reduce the iodine intake and iodine flow rate of contrast agent.

[Key words] computed tomography angiography; radiation dose; contrast medium; vertebral artery V3 segment; full-model iterative reconstruction technology

椎动脉 V3 段位于颅颈交界区,起自寰椎横突孔,止于跨枕骨大孔处,与寰枢椎解剖关系密切。有关椎动脉与寰椎的解剖及临床研究已引起学者们的日益关注,但既往大部分定量研究都基于尸体和干骨标本^[1-3]。三维 CT 血管成像(three-dimensional computed tomography angiography, 3DCTA)不仅具有快速、经济、无创的优势,而且可从多角度、多平面和全方位同时显示椎动脉和寰椎之间的三维空间关系,反映充满血流和压力的椎动脉真实形态学特征,与尸体和干骨标本相比能提供更多有价值的信息^[4-5]。然而,随着 3DCTA 的广泛使用,其图像质量不断提高的同时,辐射剂量及对比剂剂量也在明显加大^[6]。因此,本研究旨在探讨低管电压自动管电流调节(automatic tube current modulation, ATCM)和低对比剂浓度、剂量及注射速率联合全模型迭代重建(iterative model reconstruction, IMR)在椎动脉 V3 段 3DCTA 中的可行性。现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取从 2019 年 11 月至 2020 年 5 月临床怀疑上颈椎、颅颈交界区病变而在本院行颈部椎动脉 V3 段 3DCTA 的 60 例患者纳入研究。按照随机数字表法将患者随机分成 A 组、B 组,每组各 30 例。排除标准:(1)妊娠期或者哺乳期妇女;(2)严重心、肝、肾功能不全患者;(3)碘对比剂过敏患者;(4)3DCTA 图像存在运动伪影。本研究为前瞻性研究,经医院伦理委员会批准,所有患者均被告知并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 CT 检查方法

患者检查当天空腹 4 h,询问有无 3DCTA 扫描检查的禁忌证。测量身高及体重,计算 BMI。扫描范围:以寰椎后弓为中心上下 75 mm。采用 Philips

Brilliance iCT 扫描仪(荷兰飞利浦公司)行颈部椎动脉 V3 段 3DCTA。采用 Bolus-tracking 扫描技术,在颅底颈内动脉放置 1 个感兴趣区(region of interest, ROI),触发阈值 120 HU 后延迟 4.5 s 再进行扫描。A 组采用 80 kV、平均管电流为 50 mAs 的 ATCM, 25 mL 注射速率为 3 mL/s 的对比剂碘海醇(碘含量 300 mg/mL)联合 IMR 技术进行检查;B 组采用 120 kV、150 mAs 固定管电流,50 mL 注射速率为 5 mL/s 的对比剂碘帕醇(碘含量 370 mg/mL)联合滤波反投影(filtered back projection, FBP)重建技术进行检查。两组其他扫描参数相同:螺距为 0.992,球管转动速度为 0.5 s/r,矩阵 512 × 512。A 组对比剂注射结束后采用 3 mL/s 注射速率,注射 40 mL 生理盐水冲洗;B 组对比剂注射结束后采用 5 mL/s 注射速率,注射 40 mL 的生理盐水冲洗。

1.2.2 图像后处理

扫描完成后,对 CTA 原始数据进行重建,重建间隔为 0.45 mm、层厚为 0.9 mm。A 组采用 IMR 技术,重建参数为 IMR 且水平为 1 级;B 组采用 FBP 技术,重建参数为 Standard。数据传送至 Intelli Space Portal 工作站(荷兰飞利浦公司)进行三维重组,方法主要包括容积再现(volume rendering, VR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、多平面重组(multiple planar reconstruction, MPR)。

1.2.3 图像评价

图像质量客观评价:关闭及掩盖扫描参数和患者相关信息,在 1 名高年资放射医师的指导下,由 1 名放射医师测量并记录寰椎后弓水平连续 3 个层椎动脉 CT 值(CT 椎动脉)及密度均匀的椎旁肌肉 CT 值(CT 肌肉),在椎动脉上勾画平均面积为 7 mm² 的圆形 ROI,在椎旁肌肉上勾画平均面积为 30 mm² 的圆形 ROI(图 1),ROI 应避免触及血管壁及斑块,计算 3

次测量数据的平均值。采用公式^[6]计算信噪比(signal noise ratio, SNR)、对比噪声比(contrast noise ratio, CNR)、图像敏感度(figure of merit, FOM)^[7]。主观评价:关闭及掩盖患者信息,由两名放射医师对两组 2D 图像及 3DCTA 图像进行主观评价,图像质量评分为 1~5 分。5 分:图像质量优秀,对比度好,颗粒均匀,椎动脉 V3 段血管边界清晰,无伪影,容易诊断;4 分:图像质量好,对比度较好,颗粒比较均匀,椎动脉 V3 段显示好,存在少许伪影,可以诊断;3 分:图像质量可,对比度一般,颗粒欠均匀,椎动脉 V3 段显示尚可,边缘稍毛糙,存在伪影,诊断不受影响;2 分:图像质量不佳,对比度较差,图像颗粒粗,椎动脉 V3 段血管边缘毛糙,存在明显伪影,明显影响诊断;1 分:图像质量差,对比度差,颗粒粗,椎动脉 V3 段血管显示不清,图像存在严重伪影,不能诊断。达到临床诊断要求的图像质量评分需 ≥ 3 分。



图 1 血管及椎旁肌肉 ROI 示意图

1.2.4 辐射剂量及对比剂剂量

记录并比较两组 CT 扫描自动生成的患者所接受辐射剂量参数,包括:容积剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)、剂量长度乘积(dose length product, DLP),并计算有效剂量(effective dosage, ED)^[1]。计算并比较两组对比剂碘摄入量。对比剂摄入量=对比剂浓度 \times 对比剂剂量,对比剂碘流率=对比剂浓度 \times 对比剂注射速率。

1.3 统计学处理

采用 SPSS26.0 统计软件进行数据分析。正态分

布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用两独立样本 t 检验;非正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用秩和检验。计数资料以例数或百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用 $Kappa$ 检验检测评分者间的一致性, $Kappa < 0.40$ 表示一致性差, $Kappa$ 为 $0.40 \sim < 0.75$ 表示一致性一般, $Kappa > 0.75$ 表示一致性好。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料比较

两组患者的性别构成、年龄、BMI 比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性,见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较

项目	A 组($n=30$)	B 组($n=30$)	χ^2/t	P
性别			0.001	0.999
男	21	21		
女	9	9		
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	62.07 \pm 14.44	62.87 \pm 16.63	-0.488	0.625
BMI($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	23.62 \pm 3.15	24.93 \pm 3.26	-1.606	0.114

2.2 图像质量评价

2.2.1 客观评价

两组图像寰椎后弓层面椎动脉 CT 值比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);A 组椎动脉的噪声小于 B 组,SNR、CNR、FOM 均大于 B 组,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 2。

2.2.2 主观评价

A 组图像质量评分为(4.78 \pm 0.41)分,B 组为(4.85 \pm 0.35),两组比较差异无统计学意义($P > 0.05$),均达到临床诊断要求。2 位诊断医师在评价图像质量方面一致性好($Kappa = 0.899, P < 0.05$)。

2.3 两组辐射剂量及对比剂剂量比较

A 组 CTDIvol、DLP、ED 均大幅低于 B 组,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 3。A、B 组每例患者对比剂碘摄入量分别为 7.5、18.5 g,对比剂碘流率分别为 0.9、1.85 mg/s,A 组相比于 B 组,碘摄入量及碘流率分别下降了 59.5%、51.4%。

表 2 两组患者椎动脉的主、客观评价指标比较

项目	A 组($n=30$)	B 组($n=30$)	t/Z	P
CT 值($\bar{x} \pm s$, HU)	353.25 \pm 66.82	379.87 \pm 62.41	-1.595	0.116
噪声($\bar{x} \pm s$, HU)	20.39 \pm 14.22	35.80 \pm 22.45	-2.713	0.007
SNR[$M(Q_1, Q_3)$]	22.95(11.75, 37.44)	10.69(8.20, 24.71)	-2.321	0.020
CNR[$M(Q_1, Q_3)$]	18.49(10.14, 31.25)	9.06(6.93, 21.29)	-2.232	0.026
FOM[$M(Q_1, Q_3)$]	158.52(42.42, 464.69)	3.82(2.24, 21.09)	-5.722	<0.001
图像质量主观评分($\bar{x} \pm s$, 分)	4.78 \pm 0.41	4.85 \pm 0.35	-0.659	0.510

表 3 两组患者辐射剂量比较 $[M(Q_1, Q_3)]$

项目	A 组($n=30$)	B 组($n=30$)	Z	P
CTDIvol(mGy)	2.20(2.00, 2.40)	21.50(21.50, 21.50)	-7.121	<0.001
DLP(mGy·cm)	28.20(25.70, 30.80)	275.70(275.70, 275.70)	-7.121	<0.001
ED(mSv)	0.09(0.08, 0.10)	0.85(0.85, 0.85)	-7.121	<0.001

3 讨 论

椎动脉 V3 段存在较多转折,在颈椎 $C_1 \sim C_2$ 融合时更容易受到损伤^[8]。近年来,随着多层螺旋 CT 技术的快速发展,3DCTA 因其后处理功能强大、无创、敏感度高、适用性广等优点逐渐成为头颈部血管成像的首选。刘凯等^[9]发现 CTA 图像能够显示椎动脉 V3 各亚段动脉分支的显示率和排列方式。陈耀康等^[10]采用双源 CTA 研究椎动脉 V3 段的变异,发现其能够较好地显示椎动脉 V3 段的正常解剖和椎动脉沟桥形成等常见变异。然而,在 3DCTA 图像质量得到提高的同时,患者接受的辐射剂量也在加大,与对比剂相关的肾脏损伤问题逐渐得到重视。在图像质量符合临床诊断的要求下,降低患者的辐射剂量及对比剂碘摄入量对患者具有重要意义^[11-13]。随着 CT 技术的快速发展,多种辐射剂量、碘负荷、对比剂碘流率降低策略被单独或联合应用于 3DCTA 检查^[14-15]。

本研究中,A 组相比于 B 组辐射剂量大幅降低,对比剂碘摄入量仅为 B 组的 40.%(7.5/18.5),与前期研究^[6]相比有所减低,这主要是因为本研究进一步降低了 ATCM 技术的平均管电流(50 mAs)及对比剂剂量(25 mL)。YOU 等^[16]报道,当管电压由 120 kV 降低至 100 kV 时,ED 下降了 25.47%,低于 YU 等^[17]报道的降低程度(71%)。但在 YU 等^[17]的研究中,当管电压由 120 kV 下降到 80 kV 时,ED 下降了 76%。上述两者研究存在差异可能是采用了不同的扫描方案:YOU 等^[16]的研究中,两组均采用 ATCM 技术;YU 等^[17]的研究中,管电压为 120 kV 的扫描方案中采用固定管电流。相比于固定管电流结合低管电压,ATCM 技术结合低管电压可以进一步降低 ED。本研究发现,从管电压由 120 kV 降至 80 kV,ED 大幅下降,可能是因为本研究在采用 ATCM 技术的同时,平均管电流仅为 50 mAs,均低于上述文献所报道的管电流。

降低对比剂浓度、注射速率及剂量能够减低对比剂使用带来的损伤,但同时也会降低血管 CT 强化程度。降低管电压可通过减少康普顿效应,增加光电效应,提高碘对比剂的衰减及图像对比度^[18],从而弥补因注射速率降低、对比剂浓度降低及注射剂量下降所引起的血管强化程度降低。该方案更有利于患有肾病的患者,因为较高的对比剂渗透压、黏度、注射率、剂量与肾脏损伤均有密切联系^[19-20]。然而,仅仅对扫描参数进行优化可能会导致图像的噪声和伪影

大量增加,尤其是在管电压较低的情况下,这会导致 CT 图像诊断质量变差,影响诊断。所以,本研究为克服管电压降低所带来的图像质量降低的问题,引入了 IMR 技术。IMR 技术是将 X 线束建立的多个模型、焦点、X 线束、体素和探测器的几何形状均纳入计算,通过前向、后向重建,在投影数据域及图像数据域分别进行迭代运算,不断更新原始数据,最终得到低噪声、高分辨率的 CT 图像,有助于降低与 FBP 重建算法相关的量子噪声,解决 CT 扫描辐射剂量降低所致图像噪声及伪影的增加^[21-23]。此外,IMR 可以通过不断缩小理想模型与采集数据之间的差异,生成最真实、最优的图像^[24-26]。NIESTEN 等^[27]通过比较 FBP、混合迭代重建(hybrid iterative reconstruction, HIR)及 IMR 算法下头颈部 CTA 的图像质量,发现 IMR 明显改善了整体图像质量,降低了图像噪声,而 FBP 重建后的图像质量最差。CHENG 等^[23]采用 IMR 技术结合低管电压扫描,评估低辐射剂量下儿童头颈部 CTA 的图像质量,发现与 FBP 比较,IMR 技术在保持诊断图像质量的同时还能降低辐射剂量,这与本研究结论一致。HAMAGUCHI 等^[28]通过对比 IMR 与自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR)技术对颅内小动脉的显影能力,发现 IMR 技术可以在不增加辐射剂量和对比剂用量的情况下,更好地显示颅内小动脉。

本研究使用 80 kV 的扫描方案来评估椎动脉 V3 段血管,与常规的 120 kV 扫描方案比较,血管 SNR 和 CNR 值有所提高,这与 MIHL 等^[26]报道的结果一致。A 组的 FOM 高于 B 组,表明 IMR 不仅能补偿管电压降低联合 ATCM 所造成的图像噪声增加,同时能够提高单位辐射剂量对椎动脉 CNR、SNR 及 FOM 的贡献效率,椎动脉的噪声也有相应的改善。因此,尽管采用了低管电压、低管电流、低对比剂浓度及低注射速率,但扫描图像客观图像质量指标得到提高,主观评分无差异,故椎动脉 V3 段双低剂量 3DCTA 扫描联合 IMR 技术是可行的。

综上所述,低管电压 ATCM 和低对比剂浓度、剂量及注射速率联合 IMR 技术不仅可保证椎动脉 V3 段 3DCTA 图像质量,还减少了患者所接受的辐射剂量,降低了对比剂碘摄入量及碘流率。

参考文献

[1] WORAPUTTAPORN W, ANANTEERAKUL

- T, IAMSAARD S, et al. Incidence of vertebral artery of aortic arch origin, its level of entry into transverse foramen, length, diameter and clinical significance[J]. *Anat Sci Int*, 2019, 94(4):275-279.
- [2] SENOGLU M, GUMUSALAN Y, YUKSEL K Z, et al. The effect of posterior bridging of C-1 on craniovertebral junction surgery[J]. *J Neurosurg Spine*, 2006, 5(1):50-52.
- [3] ROCHA R, SAFAVI-ABBASI S, REIS C, et al. Working area, safety zones, and angles of approach for posterior C-1 lateral mass screw placement: a quantitative anatomical and morphometric evaluation[J]. *J Neurosurg Spine*, 2007, 6(3):247-254.
- [4] YAMAGUCHI S, EGUCHI K, KIURA Y, et al. Posterolateral protrusion of the vertebral artery over the posterior arch of the atlas: quantitative anatomical study using three-dimensional computed tomography angiography [J]. *J Neurosurg Spine*, 2008, 9(2):167-174.
- [5] YAMAZAKI M, OKAWA A, FURUYA T, et al. Anomalous vertebral arteries in the extra- and intraosseous regions of the craniovertebral junction visualized by 3-dimensional computed tomographic angiography: analysis of 100 consecutive surgical cases and review of the literature[J]. *Spine*, 2012, 37(22):1389-1397.
- [6] 蔡武, 龚建平, 胡春洪, 等. 全模型迭代重组技术联合低电压和低对比剂碘摄入量在头颈部 CT 血管成像中的可行性研究[J]. *中华放射学杂志*, 2016, 50(9):662-666.
- [7] HARUN H H, KARIM M K A, ABBAS Z, et al. Effect of iterative reconstruction algorithm levels on noise index and figure-of-merit in CT pulmonary angiography examinations[J]. *J X-ray Sci Technol*, 2020, 28(5):893-903.
- [8] OHYA J, MIYOSHI K, OKA H, et al. Optimal measurement for "posterolateral protrusion" of the vertebral artery at the craniovertebral junction using computed tomography angiography [J]. *J Craniovertebr Junction Spine*, 2014, 5(4):151-156.
- [9] 刘凯, 宋惠霄, 曹琰, 等. 椎动脉 V3 各亚段分支显示率及排列方式的 CTA 研究[J]. *医学影像学杂志*, 2022, 32(7):1113-1117.
- [10] 陈耀康, 王新宇. 双源 CTA 对椎动脉 V3 段变异的诊断价值及临床意义[J]. *医学信息*, 2019, 32(4):158-159.
- [11] KIM I, KANG H, YOON H J, et al. Deep learning-based image reconstruction for brain CT: improved image quality compared with adaptive statistical iterative reconstruction-Veo (ASIR-V)[J]. *Neuroradiology*, 2021, 63(6):905-912.
- [12] TENANT S, PANG C L, DISSANAYAKE P, et al. Intra-patient comparison of reduced-dose model-based iterative reconstruction with standard-dose adaptive statistical iterative reconstruction in the CT diagnosis and follow-up of urolithiasis[J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(10):4163-4172.
- [13] BODELLE B, FISCHBACH C, BOOZ C, et al. Single-energy pediatric chest computed tomography with spectral filtration at 100 kV: effects on radiation parameters and image quality[J]. *Pediatr Radiol*, 2017, 47(7):831-837.
- [14] FAGGIONI L, GABELLONI M. Iodine concentration and optimization in computed tomography angiography: current issues[J]. *Invest Radiol*, 2016, 51(12):816-822.
- [15] ZHANG W L, LI M, ZHANG B, et al. CT angiography of the head-and-neck vessels acquired with low tube voltage, low iodine, and iterative image reconstruction: clinical evaluation of radiation dose and image quality[J]. *PLoS One*, 2013, 8(12):e81486.
- [16] YOU J, DAI Y, HUANG N, et al. Low-dose computed tomography with adaptive statistical iterative reconstruction and low tube voltage in craniocervical computed tomographic angiography: impact of body mass index[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2015, 39(5):774-780.
- [17] YU S, ZHANG L, ZHENG J, et al. A comparison of adaptive iterative dose reduction 3D and filtered back projection in craniocervical CT angiography[J]. *Clin Radiol*, 2017, 72(1):96.
- [18] BEITZKE D, WOLF F, EDELHAUSER G, et al. Computed tomography angiography of the carotid arteries at low kV settings: a prospective randomised trial assessing radiation dose and diagnostic confidence[J]. *Eur Radiol*, 2011, 21(11):2434-2444.
- [19] CHO E S, CHUNG T S, OH D K, et al. Cerebral computed tomography angiography using a low tube voltage(80 kVp) and a moderate concentration of iodine contrast material: a quantitative and qualitative comparison with conventional computed tomography angiography[J].

- Invest Radiol, 2012, 47(2):142-147.
- [20] BULS N, GOMPEL G, CAUTEREN T, et al. Contrast agent and radiation dose reduction in abdominal CT by a combination of low tube voltage and advanced image reconstruction algorithms[J]. Eur Radiol, 2015, 25(4): 1023-1031.
- [21] CHEN P A, CHEN C W, CHOU C C, et al. Impact of 80 kVp with iterative reconstruction algorithm and low-dose contrast medium on the image quality of craniocervical CT angiography [J]. Clin Imaging, 2020, 68:124-130.
- [22] QIN L, MA Z, YAN F, et al. Iterative model reconstruction (IMR) algorithm for reduced radiation dose renal artery CT angiography with different tube voltage protocols [J]. Radiol Med, 2018, 123(2):83-90.
- [23] CHENG B, XING H, LEI D, et al. Impact of iterative model reconstruction combined with dose reduction on the image quality of head and neck CTA in children[J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 12613.
- [24] IYAMA Y, NAKAURA T, YOKOYAMA K, et al. Impact of knowledge-based iterative model reconstruction in abdominal dynamic CT with low tube voltage and low contrast dose [J]. Am J Roentgenol, 2016, 206(4):687-693.
- [25] PARK S B, KIM Y S, LEE J B, et al. Knowledge-based iterative model reconstruction (IMR) algorithm in ultralow-dose CT for evaluation of urolithiasis: evaluation of radiation dose reduction, image quality, and diagnostic performance[J]. Abdom Imaging, 2015, 40(8): 3137-3146.
- [26] MIHL C, KOK M, WILDBERGER J E, et al. Computed tomography angiography with high flow rates: an in vitro and in vivo feasibility study[J]. Invest Radiol, 2015, 50(7):464-469.
- [27] NIESTEN J M, SCHAAF I C, VOS P C, et al. Improving head and neck CTA with hybrid and model-based iterative reconstruction techniques [J]. Clin Radiol, 2015, 70(11):1252-1259.
- [28] HAMAGUCHI N, FUJIMA N, HAMAGUCHI A, et al. Improved depictions of the anterior choroidal artery and thalamoperforating arteries on 3D-CTA images using model-based iterative reconstruction[J]. Acad Radiol, 2021, 28(1):14-19.

(收稿日期:2023-02-14 修回日期:2023-11-19)

(编辑:张芑捷)

(上接第 4 页)

- as markers of infliximab drug response in inflammatory bowel disease[J]. J Crohns Colitis, 2021, 15(6):1019-1031.
- [22] MARIA M E, CÁTIA R, LUÍS C, et al. Features of fecal and colon microbiomes associate with responses to biologic therapies for inflammatory bowel diseases: a systematic review[J]. Clin Gastroenterol Hepatol, 2020, 18(5):1054-1069.
- [23] MARTINA F, KATJA S, MARIANNA L, et al. Microbiota and drug response in inflammatory bowel disease[J]. Pathogens, 2021, 10(2): 211.
- [24] ZHAO Q X, YU J D, ZHOU H, et al. Intestinal dysbiosis exacerbates the pathogenesis of psoriasis-like phenotype through changes in fatty acid metabolism [J]. Signal Transduct Target Ther, 2023, 8(1):40.
- [25] SHI A R, WU X S, YU S, et al. Short-term exposure to a western diet induces psoriasiform dermatitis by promoting accumulation of IL-17A-producing $\gamma\delta$ T cells[J]. J Invest Dermatol, 2020, 140(9):1815-1823.
- [26] VICENTE N L, ASUNCIÓN M A, ANA R B, et al. Efficacy and Safety of oral administration of a mixture of probiotic strains in patients with psoriasis: a randomized controlled clinical Trial[J]. Acta Derm Venereol, 2019, 99(12): 1078-1084.
- [27] JALAL M, HAMED K, SOMAYEH S, et al. Probiotic supplementation improves clinical outcomes and quality of life indicators in patients with plaque psoriasis: a randomized double-blind clinical trial [J]. Clin Nutr ESPEN, 2021, 46:33-39.

(收稿日期:2023-11-18 修回日期:2023-12-22)

(编辑:石芸)