

低管电压结合AIIR抑制髋关节假体CT伪影的效果研究

胡永志, 武鹏飞, 曹达, 王彬彬, 唐玉霞, 王守巨, 王传兵

Elucidation of the Efficacy of Low Tube Voltage Combined with AIIR in Suppressing Hip Prosthesis CT Artifacts

HU Yongzhi, WU Pengfei, CAO Da, WANG Binbin, TANG Yuxia, WANG Shouju, and WANG Chuanbing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15953/j.ctta.2024.334>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[iDose4迭代重建在AIDS合并PJP患者胸部低剂量CT扫描中的应用研究](#)

Application of iDose4 Iterative Reconstruction on Low Dose CT Scanning in AIDS Patients with PJP

CT理论与应用研究. 2020, 29(2): 195–202

[基于深度能量模型的低剂量CT重建](#)

Low-dose CT Reconstruction Based on Deep Energy Models

CT理论与应用研究. 2022, 31(6): 709–720

[基于能谱纯化结合迭代重建算法在继发性肺结核患者低剂量CT检查中的应用](#)

Application of Energy Spectrum Purification Combined with Iterative Reconstruction Algorithm in Low-dose CT Examination of Patients with Secondary Pulmonary Tuberculosis

CT理论与应用研究. 2022, 31(1): 95–101

[基于双域自适应网络的岩矿样工业CT图像金属伪影校正算法研究](#)

Metal Artifact Reduction Algorithm for CT Images of Rock and Mineral Samples Based on Dual-domain Adaptive Network

CT理论与应用研究. 2022, 31(6): 783–792

[基于先验图像对颅内金属伪影的校正研究](#)

Methods Research on Correction for Intracranial Metal Artifacts Based on Prior Image Utilization

CT理论与应用研究. 2025, 34(1): 141–148

[基于低剂量胸部CT原始数据迭代重建增强等级评价不同类型肺小结节的初步分析](#)

A Preliminary Analysis of Using the Sinogram-affirmed Iterative Reconstruction Strength Levels based on the Original Data of Low-dose Chest CT to Evaluate Different Types of Small Pulmonary Nodules

CT理论与应用研究. 2021, 30(6): 735–742



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

胡永志, 武鹏飞, 曹达, 等. 低管电压结合 AIIR 抑制髋关节假体 CT 伪影的效果研究[J]. CT 理论与应用研究 (中英文), 2025, 34(3): 377-384. DOI:10.15953/j.ctta.2024.334.
HU Y Z, WU P F, CAO D, et al. Elucidation of the Efficacy of Low Tube Voltage Combined with AIIR in Suppressing Hip Prosthesis CT Artifacts[J]. CT Theory and Applications, 2025, 34(3): 377-384. DOI:10.15953/j.ctta.2024.334. (in Chinese).

低管电压结合 AIIR 抑制髋关节假体 CT 伪影的效果研究

胡永志, 武鹏飞, 曹达, 王彬彬, 唐玉霞, 王守巨, 王传兵[✉]

南京医科大学第一附属医院放射科, 南京 210029

摘要: 目的: 探讨低管电压结合人工智能迭代重建 (AIIR) 在髋关节术后盆腔 CT 检查中抑制金属伪影的效果。方法: 回顾性收集 46 例在我院接受盆腔 CT 扫描的髋关节置换患者数据, 分为筛查组 (80kVp) 和临床组 (120kVp), 分别进行常规重建、1~5 级 AIIR 的重建; 对图像“蜡像感”和整体质量进行主观评分; 勾画 ROI 并计算 $\Delta CT_{肌肉}$ 、 $\Delta CT_{脂肪}$ 、 $SD_{伪影}$ 、 $SD_{背景}$ 、MAI 和 CNR; 对主观和客观指标先进行组内两两对比, 再将筛查组最优重建方法与临床组所有重建方法进行对比, 并比较其容积 CT 剂量指数。结果: 随着 AIIR 等级提升, 图像整体质量评分提升 (均优于常规重建), “蜡像感”降低 (AIIR 5 级与常规重建差异无统计学意义)。随着 AIIR 等级提升, 筛查组和临床组图像噪声呈上升趋势, CNR 呈下降趋势, 筛查组 MAI 呈上升趋势, 临床组 MAI 差异无统计学意义, 但均优于常规重建。AIIR 等级间 $\Delta CT_{肌肉}$ 、 $\Delta CT_{脂肪}$ 差异无统计学意义, 但 AIIR 使筛查组的该差值明显降低。筛查组容积 CT 剂量指数明显低于临床组。筛查组最优的 AIIR 5 级与临床组各重建相比, $\Delta CT_{肌肉}$ 、 $\Delta CT_{脂肪}$ 差异无统计学意义, 其他客观指标均有差异; 主观评分与临床组 AIIR 5 级差异无统计学意义, 且都优于其他重建。结论: 在髋关节置换术后患者盆腔 CT 中, 5 级是最优的 AIIR 等级, 能显著抑制噪声和金属伪影并提升 CNR; 80kVp 结合 5 级 AIIR, 能在辐射剂量低于 120kVp 的同时, 使图像主观质量达到 120kVp 水平。

关键词: CT; 低剂量; 金属伪影; 迭代重建

DOI:10.15953/j.ctta.2024.334 中图分类号: R 814.2; TP 391; R 687.4 文献标识码: A

Elucidation of the Efficacy of Low Tube Voltage Combined with AIIR in Suppressing Hip Prosthesis CT Artifacts

HU Yongzhi, WU Pengfei, CAO Da, WANG Binbin,
TANG Yuxia, WANG Shouju, WANG Chuanbing[✉]

Department of Radiology, The First Affiliated Hospital with Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

Abstract: Objective: To investigate the efficacy of low tube voltage combined with artificial intelligence iterative reconstruction (AIIR) in suppressing metal artifacts during pelvic CT scans after hip arthroplasty. Methods: Data from 46 patients with hip replacements who underwent pelvic CT scans at our hospital were retrospectively collected and divided into a screening group (80kVp) and a clinical group (120kVp). Conventional reconstruction and AIIR reconstructions at levels 1~5 were performed. Subjective scoring of “wax-like” appearance and overall image quality was conducted. Regions of interest (ROI) were drawn to calculate ΔCT of muscle, ΔCT of fat, SD of artifacts, SD of background, MAI, and CNR. Pairwise comparisons were made within each group, and the optimal reconstruction method within the screening group was compared with all methods applied in the clinical group. Volume CT dose indices were also compared. Results: As the AIIR level increased, the overall image quality score improved (better than conventional reconstruction), and the “wax-like” appearance decreased (no significant difference between AIIR level 5 and conventional reconstruction). With increasing AIIR level, image noise displayed an upward trend in both the screening and clinical groups, while CNR decreased. MAI increased in the screening group, but no significant difference was observed in the clinical group. However, both groups performed better than that obtained from conventional reconstruction. No significant differences were found in ΔCT of muscle and ΔCT of fat between AIIR levels, but AIIR significantly reduced these values in the screening group. The volume CT dose index of the screening group is significantly lower than that of the clinical group. There was no significant difference in ΔCT of muscle or fat between optimal AIIR level 5 in the screening group and all reconstructions in the clinical group, but other objective

收稿日期: 2024-12-30。

基金项目: 江苏省人民医院高层次人才培育计划 (第一期) (CZ0121002010039)。

第一作者: 胡永志, 男, 主管技师, 主要研究方向为医学影像技术, E-mail: liangzi99819981@163.com。

通信作者: 王传兵[✉], 男, 主任技师, 主要研究方向为医学影像技术及图像处理, E-mail: wangchuanb_csr@163.com。

indicators showed differences. Subjective scores showed no significant difference between the clinical group and AIIR level 5, and all were better than other reconstructions. Conclusion: In pelvic CT scans of patients after hip arthroplasty, AIIR level 5 is the optimal level, and can significantly suppress noise and metal artifacts and improve CNR. Combining 80kVp with AIIR level 5 reduces the radiation dose below that required with 120kVp, while maintaining comparable subjective image quality.

Keywords: CT; low dose; metal artifacts; iterative reconstruction

髋关节置换术广泛用于治疗严重的髋关节疾病^[1-2], 如骨性关节炎、股骨头坏死、类风湿性关节炎等。然而, 髋关节假体通常由金属制成, 这在盆腔 CT 扫描时会产生金属伪影, 严重影响图像质量。金属伪影主要表现为条纹状伪影和射线硬化伪影, 这些伪影会遮挡或扭曲关键解剖结构, 影响病变评估和治疗决策^[3-4]。通常, 通过提高管电压、应用能谱成像或进行软件处理等方法, 可有效减轻 CT 金属伪影的影响, 然而, 提高管电压和使用能谱成像可能会导致辐射剂量的增加。传统的图像处理技术 (如滤波和插值) 对伪影的抑制效果有限^[5]。

迭代重建技术则通过模拟 CT 扫描过程中的物理特性, 利用数学模型反复迭代修正图像, 从而在图像质量和噪声抑制方面取得显著提升。人工智能迭代重建 (artificial intelligence iterative reconstruction, AIIR) 算法结合了人工智能与迭代重建的优点, 能够进一步降低图像噪声, 提高图像清晰度。以往研究^[6-7]多为探讨 AIIR 降低图像噪声方面的价值, 应用于抑制金属伪影的文献较少。

本研究旨在探讨 AIIR 在筛查患者与临床患者髋关节术后盆腔 CT 检查中减少金属伪影的效果, 比较不同 AIIR 等级的表现, 以期为临床提供更低剂量、高质量的影像支持。

1 材料与方法

1.1 临床资料

回顾性收集 2022 年 9 月至 2024 年 12 月在我院接受腹部或盆腔 CT 检查的患者。入组标准:

① 扫描范围涵盖盆腔; ② 患者有髋关节置换史。排除标准: 图像中存在运动伪影, 影响测量。最终入组 46 例, 其中筛查组 34 例 (均为 80kVp 扫描), 临床组 12 例 (均为 120kVp 扫描)。

本研究已通过医院伦理委员会审核 (批件号 2023-SR-782)。

1.2 图像采集

所有患者使用 uCT960+ (上海联影) CT 扫描仪检查, 体位为头先进仰卧位, 对扫描范围外的敏感

器官进行防护。进行定位扫描后进行螺旋 CT 扫描, 扫描范围覆盖盆腔。

扫描参数: 筛查组管电压 80kVp, 临床组管电压 120kVp, 管电流根据剂量等级 2 自动调节, 球管旋转周期 0.5s, 螺距 0.9938。

1.3 图像重建

将原始数据导入探索者平台 (ulnnovation-CT R001, 上海联影) 进行重建。重建方式: ① 常规滤波反投影 (filtered back projection, FBP) 重建; ② AIIR 重建, 使用 AIIR 1~5 级进行重建。

使用 B_SOFT_B 重建核, 层厚和层间距均为 1mm, 软组织窗 (窗宽 400HU, 窗位 40HU)。每组共获得 6 组图像数据。

1.4 图像质量评价

图像质量评价分为主观评价和客观评价。

主观评价由两名具有 5 年以上经验的诊断医师, 采用盲法随机评分 6 组图像。若评分不一致, 双方商讨得出最终评分。主观评价包括:

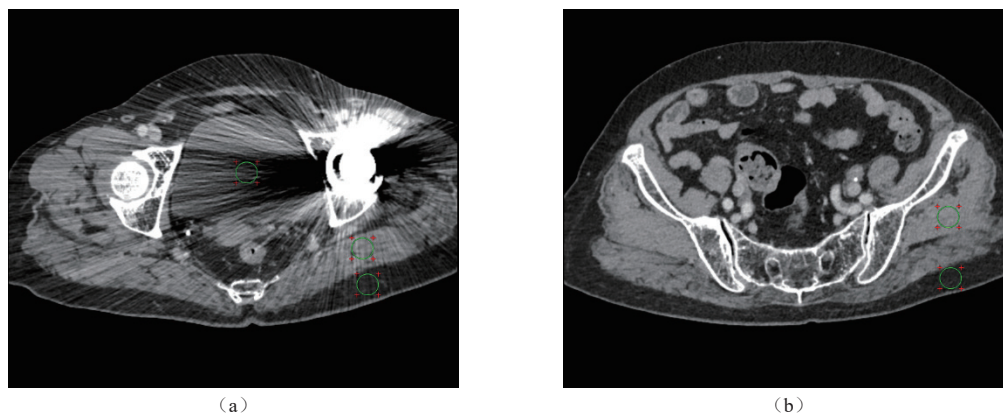
(1) 图像整体质量评分。使用 5 分法评分^[8], 主要考虑伪影程度和盆腔器官潜在病变的诊断能力。评分标准: 1 分表示大量伪影且影响诊断; 5 分表示无伪影或几乎无伪影, 诊断不受影响;

(2) 图像“蜡像感”评分^[9]。使用 5 分法评分 CT 图像的“蜡像感”, 该现象常见于高迭代次数的重建图像, 特点是图像看起来更平滑、噪点更少, 但丢失了精细细节和空间分辨率, 使其看起来有点像蜡像模型。评分标准: 1 分表示“蜡像感”很严重, 图像模糊; 5 分表示图像“蜡像感”很弱, 图像清晰。

客观评价由一位放射科医师进行, 勾画 5 个类圆形感兴趣区 (regions of interest, ROI) (图 1):

① 盆腔伪影最严重层面的盆腔中心区域; ② 同层面受伪影影响的肌肉组织; ③ 同层面受伪影影响的皮下脂肪; ④ 未受伪影影响层面的肌肉; ⑤ 未受伪影影响层面的皮下脂肪。

在常规重建图像上勾画并复制到其他图像中,



注：(a) 和 (b) 分别为筛查组盆腔 CT 常规重建图像的伪影最重层面、不受伪影影响层面的 ROI 勾画示意图。

图 1 ROI 勾画示意图

Fig.1 Schematic diagram of ROI delineation

记录所有 ROI 的 CT 值和标准差 (standard deviation, SD), 计算以下参数。

(1) CT 值差异 (ΔCT): 分别计算受伪影影响的肌肉和脂肪与未受伪影影响层面的差值 ($\Delta CT_{肌肉}$ 、 $\Delta CT_{脂肪}$), 以衡量金属伪影对 CT 值的影响程度。差值越大, 影响越大^[10]。

(2) 图像噪声 (以标准差 SD 表示): 计算受伪影影响层面和未受伪影影响层面的 SD 值, 用以反映噪声水平, 分别记为 $SD_{伪影}$ 和 $SD_{背景}$ 。SD 值越大, 噪声越大。计算公式:

$$SD_{伪影} = AVERAGE(SD_{伪影中心区}, SD_{伪影肌肉}, SD_{伪影脂肪}), \quad (1)$$

$$SD_{背景} = AVERAGE(SD_{背景肌肉}, SD_{背景脂肪}). \quad (2)$$

(3) 金属伪影指数 (metal artifact index, MAI): 计算图像中的金属伪影含量, MAI 值越小, 伪影去除越好。计算公式:

$$MAI = (SD_{伪影}^2 - SD_{背景}^2)^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

(4) 对比噪声比 (contrast-to-noise ratio, CNR): 计算受伪影影响的层面盆腔中心区域和同层面受伪影影响的肌肉的平均 CNR 值。CNR 越大, 图像质量越高。计算公式:

$$CNR = \frac{(AVERAGE(CT_{伪影中心区}, CT_{伪影肌肉}) - CT_{背景脂肪})}{SD_{背景脂肪}}. \quad (4)$$

1.5 图像质量对比

在分别对筛查组和临床组主观评价和客观指标

对比后, 结合两组结果选出图像综合质量最高的 AIIR 重建等级, 并使用筛查组质量最佳的等级, 与临床组各等级重建图的相应指标进行组间对比。

1.6 辐射剂量对比

对筛查组和临床组的容积 CT 剂量指数 (volume CT dose index, $CTDI_{vol}$) 进行组间对比。

1.7 统计学分析

所有统计分析使用 SPSS 25.0 软件进行。计量数据经过 Shapiro-Wilk 检验, 符合正态分布者以 (均数 \pm 标准差) 表示, 不符合正态分布者以 (中位数 (上下四分位数)) 表示。

(1) 组内比较

① 主观评价分析: 通过 Kappa 检验评估两位医师评分的一致性, $Kappa \geq 0.6$ 为一致性良好。患者组内各组图像的整体质量评分和“蜡像感”评分进行 Friedman 双向方差分析, 并使用 Wilcoxon 符号秩检验对评分进行两两比较。

② 客观评价分析: 对各组重建图像的 $\Delta CT_{肌肉}$ 、 $\Delta CT_{脂肪}$ 、 $SD_{伪影}$ 、 $SD_{背景}$ 、MAI 和 CNR 数据, 符合正态分布者使用配对样本 t 检验进行两两比较, 不符合正态分布者使用配对样本 Wilcoxon 符号秩检验进行两两比较。

每个指标共进行 15 次两两比较, 属于中等规模的多重比较。为了控制假阳性率, 使用 Holm-Bonferroni 法对 P 值进行校正, 校正后的 P 值用 P^* 表示。

(2) 组间比较

符合正态分布者以独立样本 t 检验进行比较, 不符合正态分布者以独立样本 Mann-Whitney U 检验进行比较。

多重比较以 $P^* < 0.05$ 为差异有统计学意义, 其他检验以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 主观评价

对于筛查和临床组的图像, 两位医师对图像的整体质量评分和“蜡像感”评分的 Kappa 检验均显示一致性良好 (均有 $Kappa > 0.7$, 表 1)。

筛查组 6 组图像的整体质量评分组间均有差异; “蜡像感”评分常规重建与 AIIR5 级差异无统计学意义, 其他组间均有差异。对于临床组, 整体质量评分方面, AIIR 3 级与 4 级差异无统计学意义, 其他组间均有差异。“蜡像感”评分方面, 常规重建

与 AIIR 5 级、AIIR 2 级与 3 级, 差异无统计学意义, 其他组间均有差异 (图 2)。

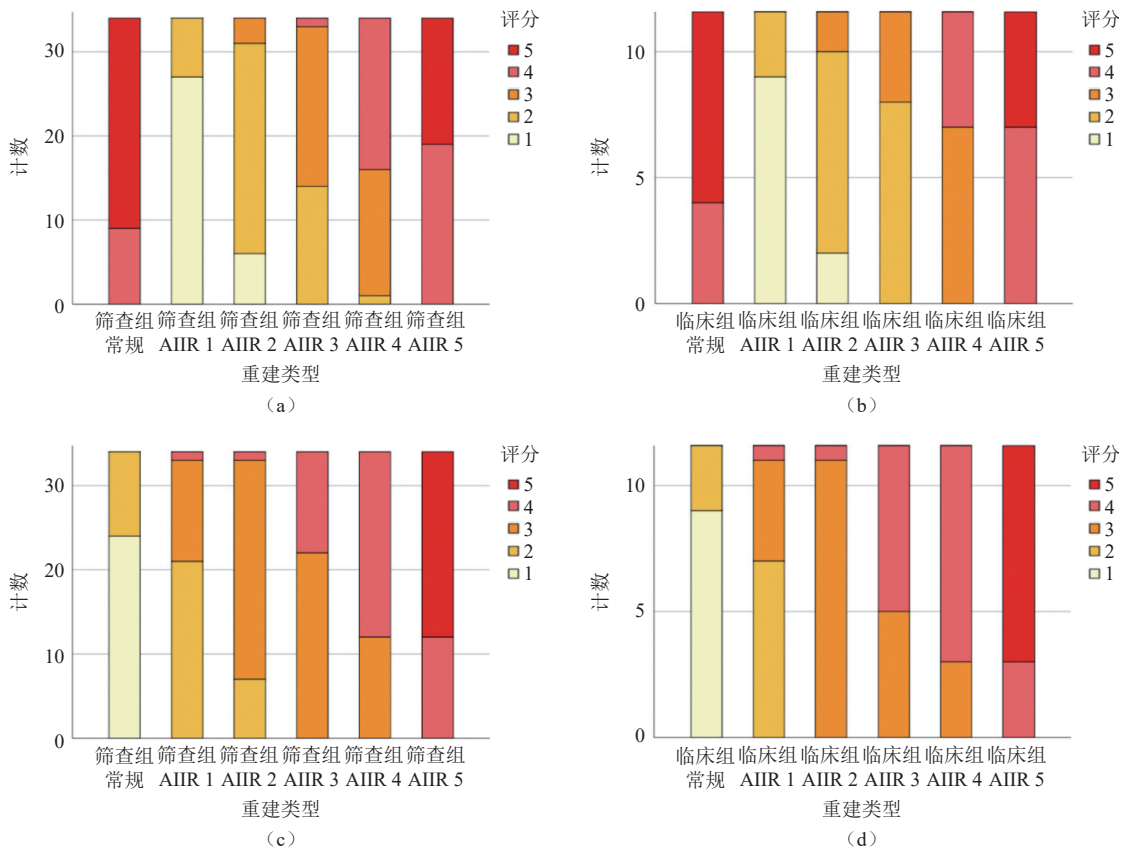
2.2 客观评价

筛查组 6 组重建图像的 $SD_{伪影}$ 、 $SD_{背景}$ 、MAI、CNR 两两均有差异; $\Delta CT_{肌肉}$ 、 $\Delta CT_{脂肪}$ 方面, AIIR 各等级与常规重建相比均有差异, 而各等级的 AIIR 之间差异无统计学意义 (表 2)。

临床组 6 组重建图像的 $SD_{伪影}$ 、 $SD_{背景}$ 、CNR 组间均有差异; MAI 方面, AIIR 各等级与常规重建相比均有差异, 而各等级的 AIIR 之间差异无统计学意义; $\Delta CT_{肌肉}$ 、 $\Delta CT_{脂肪}$ 在 6 组图像之间差异无统计学意义 (表 2)。

表 1 医师对不同重建的主观评分 Kappa 值
Table 1 Kappa values of physicians' subjective scoring of different reconstructions

项目	筛查组						临床组					
	常规	AIIR 1	AIIR 2	AIIR 3	AIIR 4	AIIR 5	常规	AIIR 1	AIIR 2	AIIR 3	AIIR 4	AIIR 5
“蜡像感”评分 Kappa	0.850	0.905	0.722	0.834	0.887	0.768	0.800	0.750	0.818	0.800	0.833	0.846
整体质量评分 Kappa	0.866	0.820	0.791	0.751	0.743	0.803	0.800	0.833	0.765	0.833	0.800	0.750



注: (a) 和 (b) 分别为筛查组、临床组的“蜡像感”评分分布, (c) 和 (d) 分别为筛查组、临床组的图像整体质量评分分布。随着 AIIR 等级提高, 图像“蜡像感”减弱, 整体质量评分提高。

图 2 “蜡像感”、整体质量评分分布

Fig.2 Distributions of ‘Wax-like’ appearance and overall quality scores

表 2 不同重建的客观指标
Table 2 Objective indicators of different reconstruction types

项目	筛查组						临床组					
	常规	AIIR 1	AIIR 2	AIIR 3	AIIR 4	AIIR 5	常规	AIIR 1	AIIR 2	AIIR 3	AIIR 4	AIIR 5
$\Delta CT_{肌肉}$	51.35 (27.35, 77.33)	16.94 (7.94, 33.74)	17.87 (9.05, 35.97)	17.99 (8.34, 35.92)	17.98 (8.32, 35.89)	18.06 (8.24, 35.83)	21.24 (3.89, 59.93)	9.76 (5.85, 23.53)	9.35 (4.95, 23.46)	9.96 (5.92, 23.45)	9.98 (5.90, 23.41)	10.03 (6.02, 23.40)
$\Delta CT_{脂肪}$	26.52 (10.31, 47.64)	9.79 (7.74, 19.03)	9.84 (7.58, 18.93)	9.89 (7.47, 18.90)	10.02 (7.40, 18.41)	10.06 (7.36, 18.93)	25.45 ± 22.75	14.42 ± 11.63	14.42 ± 11.60	14.39 ± 11.55	14.35 ± 11.50	14.37 ± 11.52
$SD_{伪影}$	54.89 (45.76, 61.55)	22.52 (16.28, 31.51)	23.07 (17.01, 32.08)	23.49 (17.59, 32.15)	24.52 (18.34, 32.79)	25.23 (19.13, 33.73)	25.24 (21.92, 25.91)	10.22 (7.64, 12.90)	10.91 (8.55, 13.50)	11.95 (9.37, 14.06)	12.78 (10.06, 14.60)	13.40 (10.74, 15.12)
$SD_{背景}$	21.98 (19.11, 24.94)	8.41 (5.38, 9.94)	9.92 (6.72, 11.03)	11.02 (8.10, 12.22)	12.31 (9.48, 13.41)	13.09 (10.51, 14.24)	11.90 ± 1.45	4.82 ± 1.35	5.86 ± 1.23	6.86 ± 1.17	7.82 ± 1.14	8.66 ± 1.18
MAI	48.96 (39.99, 56.84)	20.45 (13.91, 30.47)	20.78 (14.28, 30.73)	20.41 (13.57, 30.47)	21.41 (14.38, 30.78)	21.69 (14.35, 31.27)	21.55 (18.44, 22.39)	8.66 (5.54, 12.00)	9.00 (5.76, 12.17)	9.30 (6.00, 12.28)	9.57 (6.23, 12.24)	9.82 (6.40, 12.20)
CNR	7.54 (5.61, 9.65)	16.47 (11.49, 29.03)	14.28 (10.47, 20.87)	12.82 (9.40, 17.95)	11.44 (8.67, 15.65)	10.38 (8.00, 12.98)	10.51 ± 4.00	29.90 ± 10.35	24.38 ± 6.90	21.32 ± 5.70	18.83 ± 4.62	16.88 ± 3.74

注：符合正态分布者以(均数 ± 标准差)表示；不符合正态分布者以(中位数(上下四分位数))表示。

表 3 筛查组 AIIR 5 与临床组各重建类型的对比
Table 3 Comparisons of AIIR 5 in the screening group and different reconstruction types in the clinical group

项目	常规	AIIR 1	AIIR 2	AIIR 3	AIIR 4	AIIR 5
“蜡像感”评分	-1.328 (0.184)	-5.417 (<0.001)	-5.410 (<0.001)	-5.411 (<0.001)	-4.323 (<0.001)	-0.146 (0.884)
整体质量评分	-5.485 (<0.001)	-5.328 (<0.001)	-5.357 (<0.001)	-4.477 (<0.001)	-4.207 (<0.001)	-0.647 (0.518)
$\Delta CT_{肌肉}$	-0.300 (0.764)	-1.351 (0.177)	-1.601 (0.109)	-1.401 (0.161)	-1.426 (0.154)	-1.426 (0.154)
$\Delta CT_{脂肪}$	-1.176 (0.240)	-0.163 (0.871)	-0.150 (0.881)	-0.150 (0.881)	-0.150 (0.881)	-0.125 (0.900)
$SD_{伪影}$	-0.150 (0.881)	-4.678 (<0.001)	-4.578 (<0.001)	-4.503 (<0.001)	-4.453 (<0.001)	-4.378 (<0.001)
$SD_{背景}$	-1.026 (0.305)	-5.103 (<0.001)	-5.103 (<0.001)	-5.103 (<0.001)	-4.953 (<0.001)	-4.528 (<0.001)
MAI	-0.350 (0.726)	-4.903 (<0.001)	-4.678 (<0.001)	-4.328 (<0.001)	-4.028 (<0.001)	-3.727 (<0.001)
CNR	-0.225 (0.822)	-3.752 (<0.001)	-3.652 (<0.001)	-3.527 (<0.001)	-3.477 (0.001)	-3.352 (<0.001)

注：不符合正态分布者以独立样本 Mann-Whitney U 检验进行比较；检验结果以(Z 值(P 值))表示。

2.3 组内综合评价

对于筛查组与临床组，5 级均是综合质量最佳的 AIIR 等级。

2.4 筛查组与临床组对比

筛查组的 $CTDI_{vol}$ 显著低于临床组((3.38 ± 0.52) vs. (15.49 ± 2.35))。

筛查组 AIIR 5 级与临床组常规重建对比， $\Delta CT_{肌肉}$ 、 $\Delta CT_{脂肪}$ 、 $SD_{伪影}$ 、 $SD_{背景}$ 、MAI、CNR 差异无统计学意义；筛查组 AIIR 5 级与临床组 AIIR 1~5 级对比， $\Delta CT_{肌肉}$ 、 $\Delta CT_{脂肪}$ 差异无统计学意义， $SD_{伪影}$ 、 $SD_{背景}$ 、MAI、CNR 都有差异(表 3)。

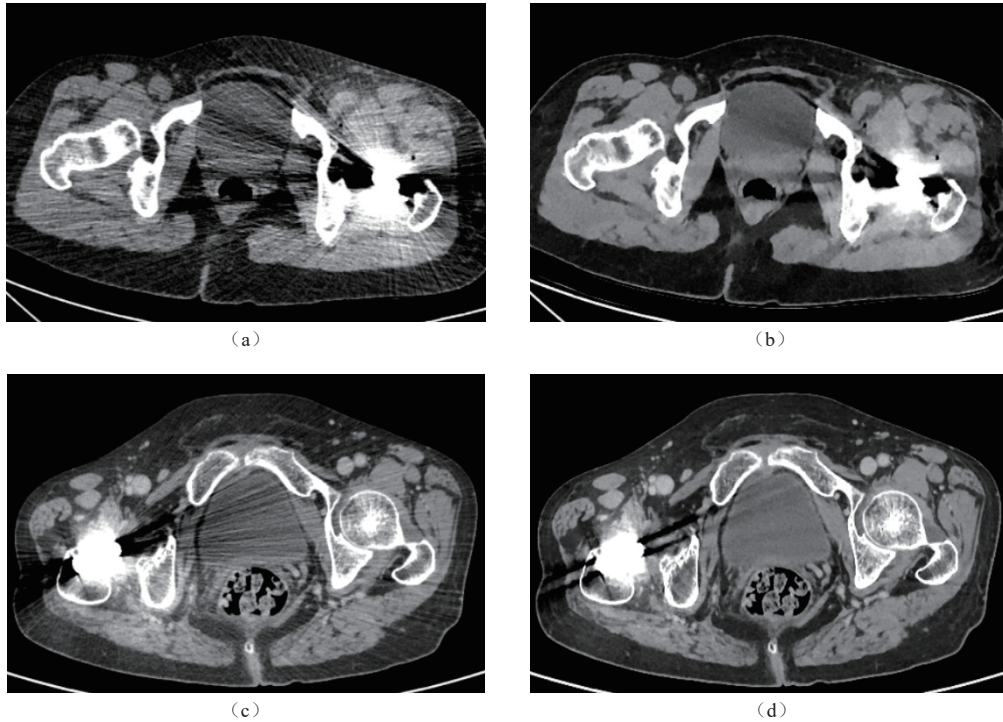
3 讨论

髋关节置换术后患者进行盆腔 CT 检查时，金属假体常常会引起伪影，影响图像质量和诊断精

度^[11-13]。传统的图像处理方法如滤波和插值，虽能在一定程度上改善图像质量，但对于复杂的金属伪影效果有限^[14-15]。

随着迭代重建技术，尤其是 AIIR 技术的引入^[16-18]，改善图像质量和减少伪影的潜力得到了显著提升。本研究通过对筛查组和临床组常规重建与 5 个等级 AIIR 重建图像的对比，探讨了不同 AIIR 等级去除金属伪影及改善图像质量的效果。

研究表明，筛查组中，5 个等级的 AIIR 重建图像在 $\Delta CT_{肌肉}$ 和 $\Delta CT_{脂肪}$ 方面明显低于常规重建，说明 AIIR 技术能够有效减小金属伪影对 CT 图像的影响。AIIR 技术通过迭代优化重建算法，能够更好地处理金属假体引起的高密度伪影，从而提高图像质量。尤其在修正软组织(如肌肉和脂肪) CT 值方面，AIIR 重建明显优于常规重建，为临床医生提供了更加精确的诊断依据。



注: (a) 和 (b) 分别为 61 岁女患者的 80 kVp 盆腔 CT 常规重建、AIIR 5 级重建; (c) 和 (d) 分别为 66 岁女患者的 120 kVp 盆腔 CT 常规重建、AIIR 5 级重建。AIIR 5 级能显著降低图像噪声, 减少金属伪影, 对低管电压者效果尤为显著。

图 3 常规重建与 AIIR 5 级重建图像对比

Fig.3 Comparison of conventional reconstruction with AIIR level 5 reconstruction images

对于临床组, 常规重建与 AIIR 的 $\Delta CT_{\text{肌肉}}$ 和 $\Delta CT_{\text{脂肪}}$ 差异均无统计学意义, 这表明在较高管电压下, 金属伪影对软组织的 CT 值失真较小, 因此 AIIR 的修正效果有限。而筛查组中, 质量最佳的 AIIR 5 级图像与临床组 6 组图像的 $\Delta CT_{\text{肌肉}}$ 和 $\Delta CT_{\text{脂肪}}$ 差异均无统计学意义, 表明 80kVp 结合 AIIR 5 级重建, 能够达到 120kVp 扫描的软组织 CT 值修正水平。

此外, AIIR 技术在降低图像噪声和金属伪影指数, 提升 CNR 方面也表现出显著优势。AIIR 重建图像的噪声 ($SD_{\text{伪影}}$ 和 $SD_{\text{背景}}$)、MAI 显著低于常规重建, CNR 则高于常规重建。表明 AIIR 技术不仅能减少伪影对图像质量的影响, 还能有效抑制噪声, 提高图像的清晰度和 CNR。筛查组 AIIR 5 级图像的噪声 ($SD_{\text{伪影}}$ 和 $SD_{\text{背景}}$)、MAI 和 CNR 与临床组常规重建差异无统计学意义, 但仍逊色于临床组 AIIR 各等级, 表明 80kVp 结合 AIIR 5 级重建, 可将噪声和金属伪影指数降低到 120kVp 扫描的水平, 但高管电压结合 AIIR 重建在此方面效果更佳 (图 3)。

AIIR 技术在去伪影和降噪方面表现出色, 但不同 AIIR 等级之间的效果仍存在差异。随着 AIIR

等级的提高, 筛查组图像的噪声和 MAI 值呈增大趋势, CNR 值则呈下降趋势, 但均明显优于常规重建。尽管高等级 AIIR 图像噪声增多, 信噪比下降, 但图像的“蜡像感”明显减轻, 图像变得更清晰、细节更加丰富, 特别是在软组织和器官边界的表现上更为细腻。这一改善在主观评分中得到了体现, 随着 AIIR 等级提升, 图像整体质量评分逐步上升, 这与已发表文献一致^[9,19-20]。

在主观评价方面, 筛查组与临床组的常规重建和 AIIR 5 级的“蜡像感”评分均相当, 均优于低 AIIR 等级; AIIR 各等级的整体质量评分均优于常规重建, 且 AIIR 5 级最佳。筛查组 AIIR 5 级的“蜡像感”评分与临床组常规重建和 AIIR 5 级重建相当; 整体质量评分与临床组 AIIR 5 级重建相当, 且都优于筛查组其他 AIIR 等级。这表明, 结合 AIIR 5 级重建, 80kVp 与 120kVp 的“蜡像感”和主观整体质量能达到相同水平。

研究还发现, 随着 AIIR 等级的提升, 重建时间延长, 因此在实际临床应用中, 应根据患者具体情况灵活选择适当的 AIIR 等级, 以平衡重建时长与图像质量, 获得最佳 CT 图像, 提升诊断精度。

本研究的局限性。回顾性研究收集的病例植入

物类型和扫描参数的多样性有限, 且临床病例也偏少, 限制了结论的广泛适用性。

未来的研究可增加病例数, 分析 AIIR 在不同部位、不同金属植入物类型, 以及不同扫描条件的患者数据, 以实现更加个性化的影像学支持。

4 结论

综上所述, 在髋关节置换术后患者盆腔 CT 中, 5 级是最优的 AIIR 等级, 能显著抑制噪声和金属伪影并提升 CNR; 80kVp 结合 5 级 AIIR, 能在辐射剂量低于 120kVp 的同时, 使图像主观质量达到 120kVp 水平, 建议在髋关节置换术后患者盆腔 CT 检查中应用。

参考文献

- [1] FERGUSON R J, PALMER A J R, TAYLOR A, et al. Hip replacement[J]. *The Lancet*, 2018, 392(10158): 1662-1671. DOI:10.1016/S0140-6736(18)31777-X.
- [2] GÜNTHER K P, DECKERT S, LÜTZNER C, et al. Total hip replacement for osteoarthritis—evidence-based and patient-oriented indications[J]. *Deutsches Ärzteblatt International*, 2021, 118(43): 730.
- [3] SELLES M, VAN OSCH J A C, MAAS M, et al. Advances in metal artifact reduction in CT images: A review of traditional and novel metal artifact reduction techniques[J]. *European Journal of Radiology*, 2024, 170: 111276. DOI:10.1016/j.ejrad.2023.111276.
- [4] HOKAMP N G, ECK B, SIEDEK F, et al. Quantification of metal artifacts in computed tomography: Methodological considerations[J]. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 2020, 10(5): 1033. DOI:10.21037/qims.2020.04.03.
- [5] PUVANASUNTHARARAJAH S, FONTANAROSA D, WILLE M L, et al. The application of metal artifact reduction methods on computed tomography scans for radiotherapy applications: A literature review[J]. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 2021, 22(6): 198-223. DOI:10.1002/acm2.13255.
- [6] 张宝平, 李傲, 李宇航, 等. 人工智能迭代重建算法在腹部低剂量增强 CT 中的临床应用价值[J]. *遵义医科大学学报*, 2024, 47(5): 487-494, 501. DOI:10.14169/j.cnki.zunyiixuebao.2024.0066.
ZHANG B P, LI A, LI Y H, et al. Clinical application of artificial intelligence iterative reconstruction algorithm in low-dose abdominal contrast-enhanced CT[J]. *Journal of Zunyi Medical University*, 2024, 47(5): 487-494, 501. DOI:10.14169/j.cnki.zunyiixuebao.2024.0066. (in Chinese).
- [7] 曾栋, 张晓瑜, 马思源, 等. 低剂量医学 CT 成像技术: 过去, 现在与未来[J]. *中国体视学与图像分析*, 2022, 27(4): 355-378. DOI:10.13505/j.1007-1482.2022.27.04.005.
ZENG D, ZHANG X Y, MA S Y, et al. Low-dose medical CT imaging: Past, present and future[J]. *Chinese Journal of Stereology and Image Analysis*, 2022, 27(4): 355-378. DOI:10.13505/j.1007-1482.2022.27.04.005. (in Chinese).
- [8] MOHAMMADINEJAD P, KHANDELWAL A, INOUE A, et al. Utility of an automatic adaptive iterative metal artifact reduction AiMAR algorithm in improving CT imaging of patients with hip prostheses evaluated for suspected bladder malignancy[J]. *Abdominal Radiology*, 2022, 47(6): 2158-2167. DOI:10.1007/s00261-022-03475-8.
- [9] 游永春, 李万江, 刘洪川, 等. “三低”技术联合人工智能迭代重建算法在主动脉 CT 血管成像中的临床应用[J]. *四川大学学报(医学版)*, 2022, 53(4): 676-681.
YOU Y C, LI W J, LIU H C, et al. Clinical application of “three-low” technique combined with artificial intelligence iterative reconstruction algorithm in aortic CT angiography[J]. *Journal of Sichuan University (Medical Sciences)*, 2022, 53(4): 676-681. (in Chinese).
- [10] SCHRECK J, LAUKAMP K R, NIEHOFF J H, et al. Metal artifact reduction in patients with total hip replacements: Evaluation of clinical photon counting CT using virtual monoenergetic images[J]. *European Radiology*, 2023, 33(12): 9286-9295. DOI:10.1007/s00330-023-09879-4.
- [11] 李杰, 袁源, 王春杰, 等. 能谱 CT 去金属伪影 (MAR) 技术用于减低单髋关节置换物伪影[J]. *中国医学影像技术*, 2021, 37(1): 131-135. DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.01.032.
LI J, YUAN Y, WANG C J, et al. Energy spectrum CT metal artifacts reduction (MAR) for reducing artifacts of unilateral hip arthroplasty[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, 2021, 37(1): 131-135. DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.01.032. (in Chinese).
- [12] YANG F, LIANG Y W, SHAO Q, et al. Application value of CT metal artifact correction technology (MAC TM) in CT review after total hip replacement[J]. *Journal of Sichuan University (Medical Sciences)*, 2020, 51(6): 828-833.
- [13] RAU A, STRAEHLE J, STEIN T, et al. Photon-counting computed tomography (PC-CT) of the spine: Impact on diagnostic confidence and radiation dose[J]. *European Radiology*, 2023, 33(8): 5578-5586. DOI:10.1007/s00330-023-09511-5.
- [14] WELLENBERG R H H, HAKVOORT E T, SLUMP C H, et al. Metal artifact reduction techniques in musculoskeletal CT-imaging[J]. *European journal of radiology*, 2018, 107: 60-69. DOI:10.1016/j.ejrad.2018.08.010.
- [15] KHODARAHMI I, ISAAC A, FISHMAN E K, et al. Metal about the hip and artifact reduction techniques: From basic concepts to advanced imaging[C]//*Seminars*

- in Musculoskeletal Radiology. Thieme Medical Publishers, 2019, 23(3): e68-e81.
- [16] LAUKAMP K R, LENNARTZ S, NEUHAUS V F, et al. CT metal artifacts in patients with total hip replacements: For artifact reduction monoenergetic reconstructions and post-processing algorithms are both efficient but not similar[J]. *European Radiology*, 2018, 28: 4524-4533. DOI:10.1007/s00330-018-5414-2.
- [17] KOHYAMA S, YOSHII Y, OKAMOTO Y, et al. Advances in bone joint imaging-metal artifact reduction[J]. *Diagnostics*, 2022, 12(12): 3079. DOI:10.3390/diagnostics12123079.
- [18] NJITI M M, OSMAN N D, MANSOR M S, et al. Potential of metal artifact reduction (MAR) and deep learning-based reconstruction (DLR) integration in CT metal artifact correction: A review[J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2024: 111541.
- [19] 杨名昊, 韩义成, 刘洪武, 等. 基于深度学习迭代重建算法的肺结节评估效果分析[J]. *医学影像学杂志*, 2024, 34(5): 75-77, 86.
YANG M H, HAN Y C, LIU H W, et al. Performance analysis of deep learning-based iterative reconstruction algorithms in the evaluation of lung nodules[J]. *Journal of Medical Imaging*, 2024, 34(5): 75-77, 86. (in Chinese).
- [20] 曹建新, 朱卓, 张清, 等. 联合人工智能模型迭代重建和 70kV 超低管电压大幅度降低肺动脉 CTA 辐射剂量的研究[J]. *放射学实践*, 2024, 39(10): 1361-1366. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.10.013.
CAO J X, ZHU Z, ZHANG Q, et al. Study of dramatic reducing radiation dose of CT pulmonary angiography using artificial intelligence model-based iterative reconstruction with 70kV ultra-low tube voltage setting[J]. *Radiologic Practice*, 2024, 39(10): 1361-1366. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.10.013. (in Chinese).