

基于深度学习的 CT 金属伪影抑制技术临床应用与图像质量评价

叶小军 阿地里江·肉孜
新疆第六人民医院 830013

摘要

探讨基于深度学习的 CT 金属伪影抑制 (DL-MAR) 技术在金属植入物患者 CT 检查中的临床应用价值, 定量与定性评价其图像质量。方法 回顾性纳入 2025 年 1 月—12 月于本院接受西门子 16 排 CT 检查、体内含金属植入物的患者 60 例, 分别行常规 CT 重建 (对照组) 与 DL-MAR 重建 (观察组)。对比两组图像的客观指标 (CT 值、噪声、SNR、CNR) 及主观评分 (伪影抑制、结构显示、图像降噪), 并分析诊断符合率。结果 观察组噪声低于对照组, SNR、CNR 高于对照组 ($P < 0.05$); 观察组主观各项评分均显著高于对照组 ($P < 0.001$)。观察组诊断符合率 96.67%, 高于对照组 81.67% ($P < 0.05$)。结论 DL-MAR 技术可有效抑制 CT 金属伪影, 降低图像噪声, 提升图像质量与诊断准确性, 临床应用价值显著。

关键词: 深度学习; CT; 金属伪影抑制; 图像质量; 临床应用

引言

CT 是临床评估金属植入物术后的重要影像学手段, 但金属植入物 (如钛合金螺钉、关节假体等) 会导致 X 射线衰减异常, 产生星芒状、条纹状伪影, 严重掩盖周围解剖结构, 影响诊断准确性。传统金属伪影抑制技术 (如 NMAR、迭代重建) 存在伪影去除不彻底、细节丢失等局限。深度学习技术通过海量数据训练, 可自主学习伪影特征并精准抑制, 为 CT 金属伪影校正提供新方向。本研究选取 60 例金属植入物患者, 对比 DL-MAR 与常规重建的图像质量, 评估其临床应用效果, 为临床推广提供依据。

资料与方法

一般资料

回顾性纳入 2025 年 1 月—12 月本院就诊的金属植入物患者 60 例, 其中男性 33 例、女性 27 例, 年龄 28~75 岁, 平均 (51.2±10.5) 岁; 植入物类型: 腰椎内固定 22 例、髋关节假体 18 例、颅骨钛板 10 例、其他 10 例。纳入标准: 体内存在明确金属植入物; 行西门子 16 排 CT 扫描; 图像伪影明显影响观察。排除标准: 严重运动伪影; 图像质量极差无法评估。本研究经本院伦理委员会批准, 患者均知情同意。

检查方法

采用西门子 16 排 CT 扫描仪，患者取仰卧位，扫描范围覆盖金属植入物及周围组织。扫描参数：管电压 120kV，管电流 200 ~ 300mA，层厚 1mm，重建层厚 1.5mm。原始数据分别行两种重建：对照组采用常规滤波反投影重建；观察组采用深度学习金属伪影抑制技术重建，算法基于 U-Net 架构，双域联合优化，兼顾伪影抑制与细节保留。

图像质量评价

客观评价

选取伪影区、邻近正常组织区及远处正常组织区，测量 CT 值、噪声（标准差），计算信噪比（SNR）、对比信噪比（CNR），每组测量 3 次取平均值。

主观评价

由 2 名高年资放射科医师采用双盲法评分，意见不一致时协商统一。评分标准：①伪影抑制（1~5 分，1 分伪影最重，5 分无明显伪影）；②结构显示（1~5 分，1 分结构模糊，5 分清晰显示）；③图像降噪（1~5 分，1 分噪声显著，5 分噪声极低）。

诊断符合率

以手术病理或随访结果为金标准，计算两组图像的诊断符合率。

统计学方法

采用 SPSS26.0 软件分析，计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示，组间比较用 t 检验；计数资料以率（%）表示，组间比较用 χ^2 检验； $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

客观指标对比

观察组噪声低于对照组，SNR、CNR 高于对照组，差异有统计学意义 ($P < 0.05$)；两组远处正常组织 CT 值无显著差异 ($P > 0.05$)，观察组伪影区及邻近组织 CT 值更接近正常组织，见表 1。

表 1 两组 CT 图像客观指标对比 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	噪声 (HU)	SNR	CNR	伪影区 CT 值 (HU)
对照组	60	28.65±5.12	12.34±2.15	8.56±1.89	- 120.35±25.68
观察组	60	15.23±3.08	25.67±3.28	18.92±2.54	- 35.62±10.25
t 值	-	17.256	-	25.689	-
P 值	-	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

主观评分对比

观察组伪影抑制、结构显示、图像降噪评分均显著高于对照组，差异有统计学意义 ($P < 0.001$)，见表 2。

表 2 两组 CT 图像主观评分对比 ($\bar{x} \pm s$, 分)

组别	例数	伪影抑制	结构显示	图像降噪
对照组	60	2.15±0.42	2.36±0.51	2.28±0.47
观察组	60	4.52±0.38	4.48±0.41	4.55±0.35
t 值	-	32.658	28.965	30.124
P 值	-	< 0.001	< 0.001	< 0.001

诊断符合率对比

对照组诊断符合率 81.67% (49/60)，观察组为 96.67% (58/60)，差异有统计学意义 ($\chi^2=6.982$, $P=0.008$)。

讨论

CT 金属伪影的产生源于金属与人体组织 X 射线衰减系数差异过大，导致投影数据缺失、重建误差增大，传统 MAR 技术难以平衡伪影抑制与细节保留。深度学习技术通过构建深度神经网络，学习金属伪影的分布特征与正常组织的纹理规律，可精准修复受损投影数据，重建高质量图像。

本研究结果显示，DL-MAR 技术可显著降低图像噪声，提升 SNR 与 CNR，客观指标优于常规重建。主观评分中，观察组伪影抑制效果显著，周围解剖结构清晰，噪声干扰少，与潘云龙等研究结论一致。分析原因：DL-MAR 算法通过双域联合优化，既在投影域修复金属缺失数据，又在图像域细化纹理细节，避免传统技术的过度平滑或伪影残留问题。

临床诊断中，金属伪影易导致漏诊、误诊，如内固定术后松动、周围组织炎症等难以识别。本研究中，观察组诊断符合率达 96.67%，显著高于对照组，证实 DL-MAR 技术可清晰显示金属植入物与周围组织的关系，为临床诊断提供可靠依据。

本研究局限性：样本量较小，未涉及不同金属材质、不同扫描参数的分层分析；未与其他深度学习算法（如 GAN、扩散模型）对比。未来需扩大样本量，优化算法参数，进一步验证其在低剂量 CT 中的应用价值。

结论

基于深度学习的 CT 金属伪影抑制技术可有效去除金属伪影，降低图像噪声，提升图像质量与诊断准确性，操作简便、安全性高，为金属植入物患者 CT 检查提供优质解决方案，具有重要的临床推广价值。

参考文献

- [1] 潘云龙,姚小玲,高荣慧,等.深度学习重建算法联合智能去除金属伪影技术改善危重患者上腹部 CT 的图像质量[J].四川大学学报(医学版),2024,55(6):1403-1409.
- [2] 叶子豪,金潼,车子刚,等.基于深度学习的 CT 图像金属伪影去除研究进展[J].CT 理论与应用研究,2025,34(3):499-505.
- [3] 胡润蕾,史再峰,孔凡宁,等.基于 Mamba 的数据与模型混合驱动型 CT 金属伪影去除网络[J].激光与光电子学进展,2026,63(2):021001.
- [4] 孟姗姗,姚悦,孙钰龙,等.能谱 CT 深度学习重建联合 MAR 技术对头颈部 CTA 义齿金属伪影抑制效果的临床研究[J].CT 理论与应用研究,2026,35(2):275-282.