

文章编号: 1671-7104(2020)01-0024-04

MAR算法在CT模拟机金属伪影去除中的实验研究

【作者】 毕帆, 涂文勇, 石慧烽, 冯琨, 樊文慧, 胡海生

上海交通大学医学院附属第九人民医院 口腔颌面-头颈肿瘤科, 上海市, 200011

【摘要】 **目的** 探讨MAR算法在CT模拟机金属伪影去除中的应用价值。**方法** 采用实验扫描带有钛板的CT模体, 分别使用常规算法和MAR算法对模体进行扫描。使用伪影指数(AI)、对比噪声比(CNR)和各层面AI值变化情况客观指标对伪影图像进行统计分析。**结果** 在伪影指数指标中, MAR算法(10.28 ± 2.60)明显低于常规算法(20.65 ± 5.04); 在对比噪声比指标中, MAR算法(7.81 ± 1.12)优于常规算法(5.61 ± 1.36); 上述指标在两种算法中均有统计学意义($P < 0.01$)。受伪影影响的层面中, MAR算法使用前后AI指数下降21.72%~88.40%。**结论** MAR算法可以明显减少CT模拟机扫描的金属伪影, 同时明显提高CT数据的临床价值。

【关键词】 MAR算法; CT模拟机; 金属伪影; 模体

【中图分类号】 R197.39

【文献标志码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1671-7104.2020.01.005

Experimental Study of MAR Algorithm in Metal Artifact Removal of CT Simulator

【Writers】 BI Fan, TU Wenyong, SHI Huifeng, FENG Kun, FAN Wenhui, HU Haisheng

Dept. of Oromaxillofacial Head and Neck Oncology, the Ninth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai, 200011

【Abstract】 **Objective** To explore the application value of MAR algorithm in metal artifact removal of CT simulator. **Methods** CT phantom with titanium plate was scanned using conventional algorithms and MAR algorithms, respectively. Artifact index(AI), contrast-to-noise ratio(CNR) and AI values at different slices were used to analyze the artifact images. **Results** In artifact index, MAR algorithm (10.28 ± 2.60) is significantly lower than conventional algorithm (20.65 ± 5.04); In contrast-to-noise ratio index, MAR algorithm (7.81 ± 1.12) is better than conventional algorithm (5.61 ± 1.36). The above indicators were statistically significant in both algorithms ($P < 0.01$). In the slices affected by metal artifacts, the artifact index decreased by 21.72%~88.40% after the MAR algorithm. **Conclusion** MAR algorithm can significantly reduce the metal artifacts and improve the clinical value of CT data.

【Key words】 MAR algorithm, CT simulator, metal artifacts, phantom

0 引言

计算机断层成像技术自出现以来, 广泛应用于放射诊断和放射治疗中。现代精准放射治疗都是建立在CT断层图像上进行靶区勾画、计划设计和剂量计算等工作, 由于很多患者为术后放疗, 部分患者有假牙植入或植入钛板等金属物, 导致在CT模拟定位扫描中产生金属伪影, 周围软组织无法识别, 造成靶区勾画和剂量分布计算

等方面存在误差^[1], 给肿瘤患者的精准治疗带来困难。CT模拟定位中金属伪影的出现主要是由于在扫描中X线穿过高密度金属物时产生衰减, 导致对应金属物在射线方向后投影数据缺失, 周围组织因部分容积效应、光子不足信号丧失严重而产生金属伪影, 常表现为星条状暗区或放射状高密度影^[2]。

随着软硬件技术的发展, 多种去伪影算法相继出现^[3-5], MAR (Metal Artifact Reduction) 算法是GE公司推出的去金属伪影算法, 目的是揭示被金属所掩盖的解剖细节。该算法是基于二维

收稿日期: 2019-07-18

基金项目: 上海交通大学医学院技术转移项目 (ZT201807)

作者简介: 毕帆, E-mail: bifan_felix@126.com

通信作者: 胡海生, E-mail: huhaishen@sina.com

投影函数算法,有助于减少体内金属造成的光子饥饿、光束硬化和条纹状伪影。MAR算法^[6-7]首先确定与金属物相对应的“毁损”的原始数据,由校正后数据代替金属毁损数据得到无瑕疵的数据,具体是把图像分类后正向投影,生成无瑕疵数据,与原始投影数据叠加结合,得到最终的投影数据,从而可显示隐藏在伪影下的解剖细节。本研究通过原型模体外加钛板金属物作为CT扫描实验模体,分别采用常规算法和MAR算法对模体进行扫描,通过计算分析金属影响层面的图像质量客观评价指标,探究金属伪影对周围区域像素CT值影响的规律,探讨MAR算法在CT模拟机金属伪影去除中的能力。

1 材料与方法

1.1 材料

原型模体为有机玻璃制作的空心圆柱形模体,高141 mm,外直径213 mm,模体内为纯净水,该模体为GE公司所生产,型号为2206352。在模体表面用双面胶粘贴钛板,钛板长为7.8 mm,宽为1.5 mm,中间为10个小孔。将钛板粘贴于模体表面中间,如图1所示。使用GE DISCOVERY RT大孔径螺旋定位CT扫描系统,扫描参数:管电压120 KeV;管电流300 mA;FOV 25 cm;层厚2.5 mm;螺距1.375:1,分别采用常规算法和MAR算法对模体进行扫描。

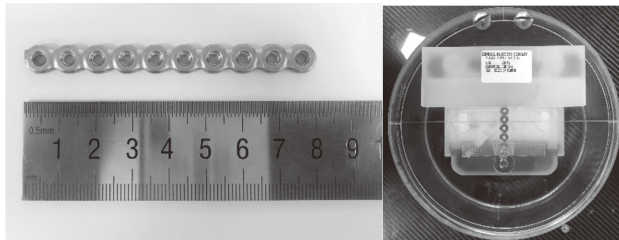


图1 金属钛板和扫描模体
Fig.1 Metal titanium and phantom

1.2 图像质量客观评价指标分析

根据常规扫描和MAR模式扫描的两组图像,钛板伪影共影响34个层面,分别对上述层面进行测量,图像测量采用同一窗宽窗位(WW: 300 Hu, WL: 80 Hu)。分别在各影响层面画

出感兴趣区(Region of Interest, ROI)、测量感兴趣区的CT值和噪声值(即SD值,代表感兴趣区CT值的标准差),分别计算图像的伪影指数(Artifact Index, AI)^[8]和对比噪声比(Contrast to Noise Ratio, CNR)^[9],计算方式如式(1)、(2)所示。每组图像随机选择一个伪影最严重区域,记为ROI 1;另选择两个无伪影区域,记为ROI 2和ROI 3, ROI=76 mm²。

$$AI = \sqrt{SD_{\text{伪影}}^2 - SD_{\text{无伪影}}^2} \quad (1)$$

$$CNR = (CT_{\text{伪影}} - CT_{\text{无伪影}}) / \sqrt{SD_{\text{伪影}}^2 + SD_{\text{无伪影}}^2} \quad (2)$$

1.3 统计学分析

使用Microsoft Excel 2016建立数据库,采用SPSS 21.0进行统计学分析,将所得的数据进行检验,AI和CNR值等计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示,计量资料的统计用配对t检验, $P < 0.01$ 为具有统计学差异。

2 结果

2.1 两种算法下AI指数和CNR的对比

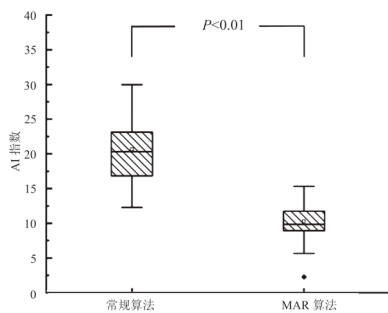
通过两种算法分别对CT模体进行扫描,每组扫描共获得88层,其中受伪影影响有34层面,分别对两组图像受影响层面进行测量,根据式(1)、式(2)分别算出伪影指数和对比噪声比。根据伪影指数式(1)可得,AI指数越大,说明图像受到金属伪影的影响越大;反之越小。在两种不同的扫描算法下,模体的AI指数和CNR值的统计结果如表1所示。在伪影指数指标方面:常规算法的AI指数(20.65 ± 5.04)要明显高于MAR算法的AI指数(10.28 ± 2.60),表明通过MAR算法,图像的伪影影响明显下降。对比噪声比的影响受到CT值和SD值的影响。CNR指数是客观评价图像质量标准中的一项重要指标,可以有效反应图像中ROI的识别程度。常规算法的CNR值(5.61 ± 1.36)低于MAR算法的CNR值(7.81 ± 1.12),通过MAR算法可提高图像的CNR值,表明各伪影影响层面,图像质量有一定程度提升。分别对常规算法和MAR算法下的两个参数行配对t检验,AI指数($t=12.14$,

研究与论著

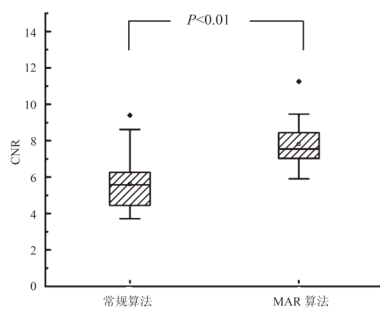
$P < 0.01$) 和CNR ($t = -10.12, P < 0.01$) 统计学差异明显, 图2表示了AI指数和CNR的两种算法的箱式图。

表1 两种算法图像质量定量测量结果与比较 ($\bar{x} \pm s$)
Tab.1 Quantitative measurement results and comparison of image quality under two algorithms ($\bar{x} \pm s$)

组别	层数	AI	CNR
常规算法	34	20.65 ± 5.04	5.61 ± 1.36
MAR算法	34	10.28 ± 2.60	7.81 ± 1.12
<i>t</i>		12.14	-10.12
<i>P</i>		0.000	0.000



(a) AI 指数
(a) Artifact index



(b) CNR 指数
(b) Contrast to noise ratio

图2 两种算法AI指数和CNR指数对比箱式图

Fig.2 AI index and CNR index contrast box plot under two algorithms

2.2 不同层面下的去伪影前后的影响

通过上述扫描和计算, 两组算法下的扫描后受影响的CT图像层面均为34层, 为进一步探究各层面影响大小, 分别将两组算法下的AI值制成折线图, 如图3所示。从折线图上来看, 在常规算法的扫描下, 各层面的AI指数均大于MAR算法下的AI指数, 各相邻层面的AI指数呈现阶梯上下变化趋势, 这与金属钛板的形状有一定关系, 本实验研究使用的金属钛板为长条形, 中间有相关空腔, 故在断层扫描中该层面AI指数

较小。进一步对比AI值下降程度, 分别统计影响层面的AI值下降速率, 达到21.72%~88.40%。AI值下降比例最大的为I 37.5层面, 常规算法和MAR算法下的AI值为19.52和2.26, 下降比率达到88.40%。

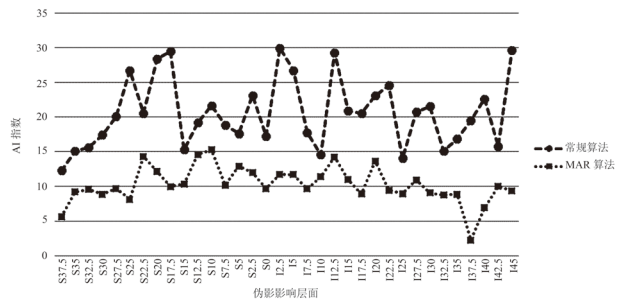


图3 两种算法不同层面伪影影响大小

Fig.3 The influence of artifacts at different slices under two algorithms

3 讨论

在CT模拟机对肿瘤定位时, 金属植入物会产生严重的伪影, 影响邻近组织结构的观察, 导致在靶区勾画、计划设计、剂量计算等方面存在不确定性, 影响精准放疗的实施。故在CT模拟定位中如何有效去除金属伪影同时最大限度提高图像质量成为继续解决的问题。金属伪影产生的主要原因是人体组织与金属的密度差异过大^[10-11]。金属伪影的产生与金属自身的高衰减系数造成的光子饥饿效应有关, 这些伪影以条纹、放射状等形式显示出来, 这取决于金属的形状和性质。目前金属伪影的解决方法主要集中在优化扫描参数设置^[12]、采用能谱CT扫描^[13]以及图像后处理方法上^[14]。优化扫描参数的方法是增加管电压和管电流, 应用效果一般, 且大大增加扫描剂量; 且改变管电压会影响CT模拟机的电子密度, 从而造成TPS剂量计算的不准确性。能谱CT尝试从硬件角度解决该问题, 但目前无法解决因硬化效应造成的伪影。图像后处理方法主要是从算法和技术上对伪影问题进行处理, 主要包含迭代重建法、投影插值法及混合方法等。如部分金属伪影去除技术是利用正弦曲线修复方法将原始数据中受到金属影响的

部分替换,虽然该方法在一定程度上消除了金属伪影,但由于原始数据的替换导致数据的丢失,造成图像信噪比降低。

本研究通过原型模体外加钛板金属物作为CT扫描实验模体,分别采用常规算法和MAR算法对模体进行扫描,通过计算分析金属影响层面的图像质量客观评价指标,探讨MAR算法在CT模拟机金属伪影去除中的能力,研究结果表明在图像质量方面,应用MAR算法后,AI指数和CNR两项指标均有提升,两算法的对比有统计学意义。在两种算法下不同层面伪影影响不同,各层面的AI指数影响大小达到21.72%~88.40%。MAR算法是GE公司新推出的去伪影算法^[15],该算法仅需一次采集即可得到校正后的图像,在减轻伪影的同时减少了检查时间,提升了患者检查的舒适度;该技术可以用于人工关节置换、口腔植入物、内固定金属支架及放射性粒子等的伪影消除等。综上所述,MAR算法可以明显降低CT模拟机定位扫描时产生的射束硬化和光子饥饿金属伪影,同时可整体提高CT图像的图像质量。本研究结果可为CT模拟机金属伪影去除、优化扫描基础提供参考,将进一步指导医学物理人员开展金属伪影对靶区勾画和剂量计算等方面的工作。

本研究也存在一定的局限性,使用单一的模体对图像的各项参数进行了评价,但在实际临床应用,扫描部位、扫描参数、金属材料和不同的重建方式均会产生不一样的效果。本模体的制作是将金属物放置于模体表面,无法完全仿真金属物在体内进行CT扫描的影响。下一步研究将进一步优化扫描模体,使之更符合金属在人体中的情况;同时可回顾性研究病人的图像资料,以克服单一模体所得数据的片面性问题。

参考文献

- [1] MURAZAKI H, FUKUNAGA J, HIROSE T, et al. Dosimetric assessment of a single-energy metal artifact reduction algorithm for computed tomography images in radiation therapy[J]. Radiol Phys Technol, 2019: 1-9.
- [2] KATSURA M, SATO J, AKAHANE M, et al. Current and novel techniques for metal artifact reduction at CT: practical guide for radiologists[J]. Radio Graphics, 2018, 38(2):450-461.
- [3] MAHNKEN A H, RAUPACH R WILDBERGER J E, et al. A new algorithm for metal artifact reduction in computed tomography: *in vitro* and *in vivo* evaluation after total hip replacement[J]. Invest Radiol, 2003, 38(12):769-775.
- [4] KRIMI S, PAMELA C, CHRISTOPH W, et al. Segmentation of artifacts and anatomy in CT metal artifact reduction[J]. Med Phys, 2012, 39(10): 5857-5868.
- [5] WANG J. Iterative image reconstruction algorithms for CT metal artifact reduction: a review[J]. Recent Patents Med Imaging, 2013, 3:111-117.
- [6] 刘卓,魏拓,洪楠,等. 双能量CT联合金属伪影削减算法抑制股骨柄假体金属伪影的模型研究[J]. 放射学实践, 2019, 34(3): 332-336.
- [7] 通用电气公司. 获得MAR图像的方法及装置: 中国, CN201610655886.2[P]. 2018-02-23.
- [8] 高维青,陈毅,王晶波,等. 能谱锥形束CT减少口腔金属伪影的效果评价[J]. 中国口腔颌面外科杂志, 2018, 16(6): 48-52.
- [9] 吴坚,徐冶敏,韩永顺,等. CT能谱成像技术去除眼眶金属植入物伪影的临床应用[J]. 组织工程与重建外科杂志, 2019, 15(1): 17-19.
- [10] KATSUMURA S, SATO K, IKAWA T, et al. "High-precision, reconstructed 3D model" of skull scanned by conebeam CT: Reproducibility verified using CAD/CAM data[J]. Leg Med, 2015(11): 37-43.
- [11] TANG H, YANG D, GUO S, et al. Digital tomosynthesis with metal artifact reduction for assessing cementless hip arthroplasty: a diagnostic cohort study of 48 patients[J]. Skeletal Radiol, 2016, 45(11):1523-1532.
- [12] FRAGA-MANTEIGA E, SHAW D J, DENNISON S, et al. An optimized computed tomography protocol for metallic gunshot head trauma in a seal model[J]. Veterin Radiol Ultrasound, 2014, 55(4): 393-398.
- [13] 胡永志,梁媛. Revolution宝石能谱CT在减少腰椎内固定引起的硬化伪影中的应用[J]. 中外医疗, 2019, 38(1): 181-184.
- [14] 颜森森,罗敏,汪奇慧,等. 单源能谱CT在消除金属内固定伪影中的应用[J]. 医学影像学杂志, 2016, 26(1): 94-95, 98.
- [15] 房加高,邹月芬,徐海,等. 多排螺旋CT扫描MAR算法在去除膝关节金属伪影中的应用价值[J]. 中外医疗, 2018, 37(28): 10-12.