

金标伪影对射波刀剂量计算及分布的影响

景生华,李傲梅,季小芹,沈泽天,周含,李兵,朱锡旭
东部战区总医院放疗科,江苏 南京 210002

【摘要】目的:分析金标伪影对射波刀剂量计算及分布的影响。**方法:**采用能谱CT的GSI扫描技术和MARS重建技术获取Lucy模体的原始CT图像和去除金标伪影后的CT图像,利用射波刀Multiplan®计划系统对两组CT图像进行等中心计划设计计算,分析金标伪影对剂量计算及分布的影响。**结果:**金标伪影使CT图像伪影区域的CT值发生改变,最大可达63.22%,金标伪影低估了金标周围(伪影区域)正常重要组织的最大剂量值,高估了金标周围(伪影区域)正常重要组织的最小剂量值,高估了PTV的剂量覆盖率。**结论:**使用能谱CT可降低金标伪影对射波刀剂量计算及分布的影响。

【关键词】射波刀;金标伪影;剂量计算;剂量分布

【中图分类号】R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)08-0996-04

Effects of fiducial artifact on dose calculation and distribution of Cyberknife treatment

JING Sheng-hua, LI Ao-mei, JI Xiao-qin, SHEN Ze-tian, ZHOU Han, LI Bing, ZHU Xi-xu

Department of Radiation Oncology, General Hospital of Eastern Theater Command, Nanjing 210002, China

Abstract: Objective To analyze the effects of fiducial artifact on the dose calculation and distribution of Cyberknife treatment. **Methods** The original CT images and the CT images without fiducial artifacts of Lucy phantom were acquired by the GSI scanning technology of energy spectral CT and MARS reconstruction technology. Cyberknife Multiplan® system was used for the design and calculation of the isocentric plan based on the two groups of CT images, and the effects of fiducial artifacts on the dose calculation and distribution were analyzed. **Results** The CT value of the artifact area on the CT images was affected by fiducial artifact, and the maximum change was up to 63.22%. The existence of fiducial artifact led to the underestimation of the maximum dose of the normal tissues around the fiducial (artifact area), and the overestimations of the minimum dose of the normal tissues around the fiducial (artifact area) and PTV dose coverage. **Conclusion** Energy spectral CT can be used to reduce the effect of fiducial artifact on the dose calculation and distribution of Cyberknife treatment.

Keywords: Cyberknife; fiducial artifact; dose calculation; dose distribution

前言

射波刀是一种可应用于全身肿瘤的立体定向放射外科治疗设备^[1],该系统采用实时影像引导及同步动态追踪系统^[2]。射波刀治疗运动中的肺部肿瘤时,金标的植入可以提高动态肿瘤的治疗精度^[3-4]。患者进行CT定位扫描时,当X射线穿过人体后,某些能量的X射线被人体组织吸收衰减,剩余能量的X射线会随能量的增加产生硬化伪影^[5-7],而金标的密度较

高,对X射线能量的衰减要远大于人体组织,导致探测器几乎接收不到穿透的X射线光子,因此探测器接收到的是错误的信息数据。这些错误的电子密度信息影响了射波刀计划计算的准确性^[8-9]。金标伪影的影响程度取决于患者体内金属的大小、形状和密度,甚至还受管电压、管电流和准直器宽度等扫描参数的影响^[10-11]。

目前射波刀治疗尚未对金标伪影进行处理,研究金标伪影对射波刀剂量计算及分布的影响具有重要的临床意义。本文采用Multiplan®计划系统分别对原始CT扫描图像和去除金标伪影后的CT图像(该组图像金标伪影通过能谱CT^[12-13]的GSI扫描技术和MARS^[14-15]重建技术去除)进行射波刀计划的设计与计算,分析出金标对剂量计算以及剂量分布的影响。

【收稿日期】2020-03-09

【作者简介】景生华,硕士研究生,主管技师,研究方向:放射治疗物理学,E-mail: jingsh99@139.com

【通信作者】朱锡旭,博士,研究方向:肿瘤放射治疗学,E-mail: zhuxixu@hotmail.com

1 材料与方法

1.1 材料及设备

德国西门子 Somatom Definition Flash CT 机, Multiplan®计划系统, Syngommvvp VE36A 工作站, Lucy 模体。

1.2 能谱CT图像扫描与参数设定

首先, Lucy 置于仰卧位^[16], 扫描其定位像, 扫描范围包括头顶上 1 cm 至颈 7 水平, 双能量扫描参数设定: X 线 A 管电压 140 kV, 参考电流 86 mA, B 管电压 80 kV, 参考电流 468 mA^[17], 打开 CARE DOSE 4D, 准直器为 (64×0.6) mm², 螺距为 0.8, X 线管旋转时间 0.5 s/周。融合系数 0.3 (即 70% 信息来自 140 kV 数

据, 30% 信息来自 80 kV 数据), 自动重建出层厚 0.75 mm, 间隔 0.5 mm 和层厚 5 mm, 间隔 5 mm 的两个系列图像, 每个系列图像均得到 3 组数据 (管电压 140、80 kV 及平均加权 120 kV 的数据)。卷积核为 D30f, 骨窗, 窗宽 400 HU, 窗位 1 500 HU。辐射剂量: 长度乘积 (DLP) 为 36~160 mGy·cm。

1.3 金标伪影去除

扫描完成后, 将自动重建数据 (管电压 140、80 kV 以及平均加权 120 kV 数据) 传至工作站 (Syngommvvp VE36A), 其中平均加权 120 kV 的数据常规用于诊断和摄片。正常 CT 图像见图 1a, 利用 GSI 技术去除金标伪影后的 CT 图像见图 1b。

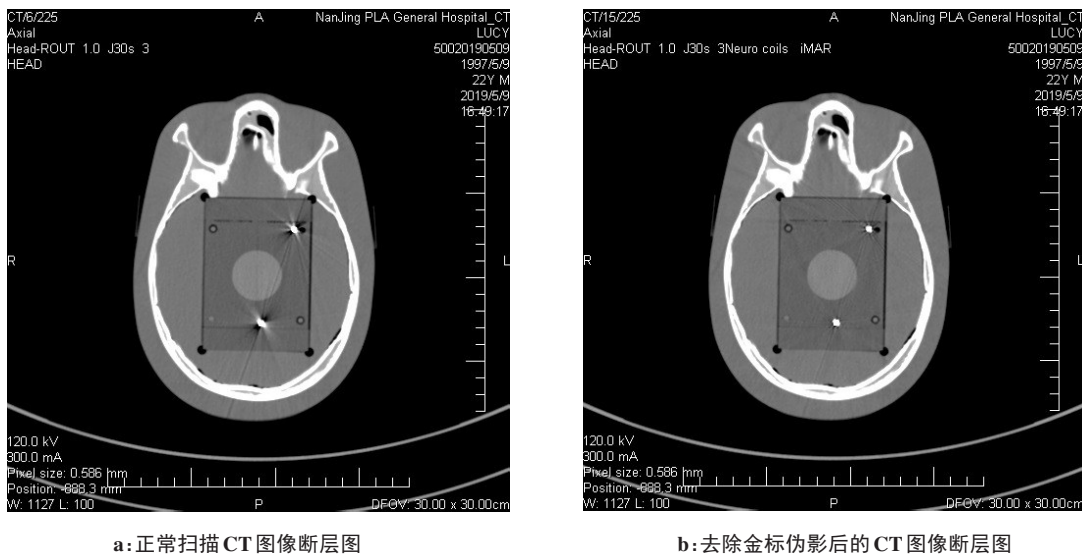


图1 正常扫描和去除伪影后的 CT 图像断层图
Fig.1 Comparison of normal CT image and non-artifact CT image

1.4 射波刀计划设计及计算

将两组 CT 图像分别传送至 Multiplan®计划系统, 由临床医生完成肿瘤靶区 (Gross Tumor Volume, GTV) 和危及器官 (Organ At Risk, OAR) 的勾画, 将该靶区复制到去除伪影的 CT 组图像上, 保证两组 CT 图像的靶区完全一致。治疗计划采用美国 Accuray 公司的 Multiplan®计划系统。采用 6D 头颅追踪模式, 等中心照射方式, 准直器 35 mm。将两组 CT 图像追踪中心和治疗的等中心定在同一个坐标位置, 保证两组计划设计完全一致。计划设计完成后, 采用高密度计算网格对计划进行精算, 为了便于比较, 采用处方剂量包绕相同 GTV 体积的标准进行归一。两组 CT 图像的剂量分布见图 2。

1.5 统计学分析

两组 CT 图像计划的数据采用均数±标准差进行描述, 其中 CT 值、感兴趣点剂量占处方剂量百分比、

感兴趣点剂量值、靶区和正常组织器官的最小剂量值 (D_{Min})、最大剂量值 (D_{Max})、适形度指数 (CI)、新适形指数 (nCI)、均匀性指数 (HI)^[18]、剂量覆盖率、梯度指数 (GI) 等的比较采用配对 t 检验, 采用多重线性回归分析相关的影响因素, $P<0.05$ 为结果有统计学意义, 统计分析采用 SPSS 22 统计软件包。

2 结果

2.1 金标伪影剂量计算差异

两组 CT 图像计划的金标伪影周边数据见表 1。从表 1 可以看出, 虽然金标的 CT 值和感兴趣点剂量占处方剂量百分比的差异没有统计学意义 ($P>0.05$), 但是金标伪影改变了伪影区域的 CT 值, 差异最高可达 63.22%; 两组 CT 图像的不同感兴趣点 (金标附近, 伪影区域) 的剂量值存在显著差异 ($P=0.024$), 说明金标伪影对剂量的计算和分布有影响。

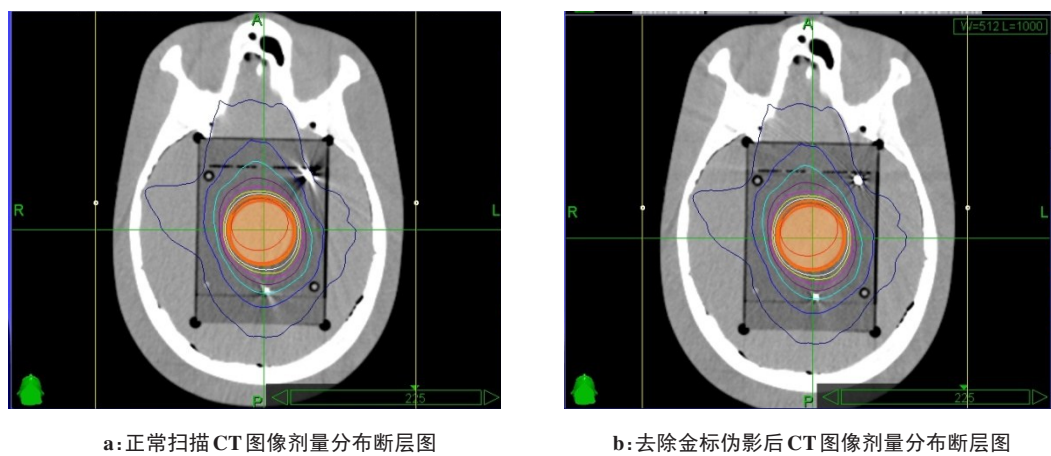


图 2 正常扫描和去伪影后剂量分布断层图

Fig.2 Dose distributions after normal scanning and removing artifacts

表 1 两组图像金标周边不同方向受照剂量统计表

Tab.1 Dose parameters in different directions around the fiducial in two groups of images

组别	CT 值/HU	感兴趣点剂量占处方剂量百分比/%	感兴趣点剂量值/cGy
原始 CT	1 210.44±1 098.10	12.18±1.93	452.14±13.77
去伪影 CT	1 263.00±1 014.15	12.18±1.92	451.54±13.71
P 值	0.421	0.939	0.024

2.2 靶区剂量分布差异

两组 CT 图像的 PTV 数据见表 2;GTV 数据见表 3。

从表 2 的数据可以看出, nCI 和剂量覆盖率结果存在统计学差异,说明金标伪影改变了射波刀计划的剂量分布,高估了 PTV 的剂量覆盖率,从 D_{Min} 的数据可知,金标伪影高估了 PTV 的最小剂量值。

从表 3 的数据可以看出,GTV 的 D_{Min} 存在明显差异,说明金标伪影改变了射波刀计划的剂量计算,高估了 GTV 的最小剂量值;从剂量覆盖率的数据可知,金标伪影高估了 GTV 的剂量覆盖率;金标伪影低估了 GTV 的最大剂量值。

2.3 危及器官剂量分布差异

两组 CT 图像计划的危及器官数据见表 4。由表

表 2 两组图像 PTV 受照剂量

Tab.2 Irradiated doses of PTV in two groups of images

组别	D_{min} /cGy	D_{max} /cGy	CI	nCI	HI	剂量覆盖率/%
原始 CT	2 687.91±66.93	3 590.29±89.40	1.09±0.02	1.19±0.05	1.19±0.02	91.46±5.65
去伪影 CT	2 667.78±54.26	3 590.29±89.40	1.09±0.02	1.20±0.05	1.19±0.02	91.13±5.64
P 值	0.091	-	0.374	0.016	-	0.000

表 3 两组图像 GTV 受照剂量

Tab.3 Irradiated doses of GTV in two groups of images

组别	D_{min} /cGy	D_{max} /cGy	CI	nCI	HI	剂量覆盖率/%
原始 CT	2 934.40±73.06	3 590.29±89.40	1.23±0.06	1.26±0.04	1.19±0.02	97.70±3.02
去伪影 CT	2 924.49±72.82	3 630.29±118.7	1.23±0.06	1.27±0.03	1.19±0.02	97.48±3.17
P 值	0.000	0.423	-	0.070	-	0.072

4 可知出,两组计划危及器官的 D_{min} ($P=0.004$) 和 D_{max} ($P=0.000$) 存在显著差异。两组 CT 图像计划中,原始 CT 计划危及器官的 D_{min} 高于去除伪影后 CT 计划,而 D_{max} 低于去除伪影后 CT 计划。

3 总结

采用金标作为内标记实现运动肿瘤实时追踪可以保证肿瘤实时追踪的精度,而金标在 CT 断层图像

表4 两组图像危及器官受照剂量

Tab.4 Irradiated doses of the normal tissues in two groups of images

组别	D _{min} /cGy	D _{max} /cGy
原始CT	32.12±0.80	3 509.21±87.37
去伪影CT	32.11±0.79	3 512.96±87.47
P值	0.004	0.000

上呈现的金标伪影对邻近的正常组织和肿瘤带来影响^[19]。有文献指出,金标植入患者体内,金标伪影对剂量及相同深度离轴点处的吸收剂量影响可达3%^[20],且该影响随金标被植入的深度增加而降低,但电离室的测量只能说明一种趋势,在放疗计划中的具体情况还需要进一步探究。

通过以上研究,金标在CT断层图像上呈现的高亮伪影区和暗伪影区使得CT图像上伪影区域的CT值发生改变,最大可达63.22%;两组CT图像中感兴趣点(金标附近,伪影区域)的剂量值有统计学差异($P=0.024$),说明金标对剂量计算及分布有影响;对靶区而言,金标伪影高估了PTV和GTV的最小剂量值和处方剂量覆盖率,低估了GTV的最大剂量值;对危及器官而言,金标伪影高估了危及器官的最小剂量值,低估了最大剂量值。

综上所述,金标的植入提高了运动肿瘤的治疗精度,但金标伪影对计划的剂量计算及分布带来不可忽视的影响,高估的靶区处方剂量覆盖率将影响肿瘤的控制率,低估的危及器官最大剂量值将影响串行组织的剂量评估。因此临床上若需要植入金标时,建议利用能谱CT的GSI扫描技术和MARS重建技术在CT定位时在线去除金标伪影,降低其对剂量计算及剂量分布的影响。

【参考文献】

[1] SLAGOWSKI J M, COLBERT L E, CAZACU I M, et al. Evaluation of the visibility and artifacts of 11 common fiducial markers for image guided stereotactic body radiation therapy in the abdomen[J]. Pract Radiat Oncol, 2020 Jan 24. Online ahead of print.

[2] 朱锡旭, 李兵. CyberKnife 立体定向放射治疗学[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2014: 33.

[3] ZHU X X, LI B. CyberKnife stereotactic radiosurgery[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 2014: 33.

[4] 景生华, 李兵. 射波刀治疗肺部肿瘤追踪精度的初步分析[J]. 医疗卫生装备, 2014, 35(9): 94-96.

[5] JING S H, LI B. Preliminary analysis of tracking accuracy about treatment of CK in lung tumor[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2014, 35(9): 94-96.

[6] SUZUKI T, SAITO M, ONISHI H, et al. Comparison of CT artifacts and image recognition of various fiducial markers including two types of thinner fiducial markers for CyberKnife treatment[J]. Rep Pract Oncol Radiother, 2020, 25(1): 117-124.

[7] LEE M J, KIM S, LEE S A, et al. Overcoming artifacts from metallic orthopedic implants at high-field-strength MR imaging and multidetector CT[J]. Radiographics, 2007, 27(3): 791-803.

[8] KRESTAN C R, NOSKE H, VASILEVSKA V, et al. MDCT versus digital radiography in the evaluation of bone healing in orthopedic patients[J]. AJR Am J Roentgenol, 2006, 86(6): 1754-1760.

[9] WATZKE O, KALENDER W A. A pragmatic approach to metal artifact reduction in CT: merging of metal artifact reduced images[J]. Eur Radiol, 2004, 14(5): 849-856.

[10] 王家柱, 许来青, 王照五, 等. CBCT 金属伪影产生规律研究分析[J]. 中华老年口腔医学杂志, 2016, 14(4): 230-236.

[11] WANG J Z, XU L Q, WANG Z W, et al. Research and analysis of metal artifact generation rules of CBCT[J]. Chinese Journal of Geriatric Dentistry, 2016, 14(4): 230-236.

[12] SUZUKI T, SAITO M, ONISHI H, et al. Comparison of CT artifacts and image recognition of various fiducial markers including two types of thinner fiducial markers for CyberKnife treatment[J]. Rep Pract Oncol Radiother, 2020, 25(1): 117-124.

[13] HUA L, YU L, XIN L, et al. Metal artifact suppression from reformatted projections in multi-slice helical CT using dual-front active contours[C]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2009: 993.

[14] LINK T M, BERNING W, SCHERF S, et al. CT of metal implants: reduction of artifacts using an extended CT scale technique[J]. J Comput Assist Tomogr, 2000, 24(1): 165-172.

[15] 周长圣, 郑玲, 张龙江, 等. 双源CT单能谱成像技术在骨折金属固定术后的应用[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45(2): 124-127.

[16] ZHOU C S, ZHENG L, ZHANG L J, et al. Monoenergetic imaging of dual energy CT in the evaluation of metal fixation of fractures[J]. Chinese Journal of Radiology, 2011, 45(2): 124-127.

[17] 郁斌, 吕富荣, 张黎, 等. 胸部CT扫描中迭代去金属伪影算法减少金属伪影的有效性[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(4): 590-593.

[18] YU B, LU F R, ZHANG L, et al. Effectiveness of iterative metal-removal algorithm for reducing metal artifacts in chest CT scanning[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2017, 33(4): 590-593.

[19] 黄昀桢, 彭波. 单源双能量CT在降低金属植入物硬化伪影中的价值[J]. 中国社区医师, 2017, 33(10): 97-99.

[20] HUANG Y J, PENG B. Value of single source dual energy CT in reducing metal implant hardening artifact[J]. Chinese Community Doctors, 2017, 33(10): 97-99.

[21] 毕帆, 涂文勇, 石慧烽, 等. MAR 算法在CT模拟机金属伪影去除中的实验研究[J]. 中国医疗器械杂志, 2020, 44(1): 24-27.

[22] BI F, TU W Y, SHI H F, et al. Experimental study of MAR algorithm in metal artifact removal of CT simulator[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2020, 44(1): 24-27.

[23] 丁俊强, 朴俊杰, 徐慧军, 等. 射波刀金标追踪仰卧位与俯卧位治疗照射精度的对比[J]. 中国医学装备, 2019, 16(1): 36-39.

[24] DING J Q, PU J J, XU H J, et al. Comparison of the radiation precision of metal marker tracing of CyberKnife between supine and prone position treatment[J]. Chinese Medical Equipment, 2019, 16(1): 36-39.

[25] 张秋杭, 高艳, 李坤成, 等. 能谱CT GSI 与 MARS 在减轻脊柱金属植入物椎管内伪影效果的研究比较[J]. 临床放射学杂志, 2012, 31(9): 1338-1342.

[26] ZHANG Q H, GAO Y, LI K C, et al. The comparative study of GSI and MARS in reducing the spinal metal artifacts on HDCT[J]. Journal of Clinical Radiology, 2012, 31(9): 1338-1342.

[27] 曹洋森. 射波刀蒙特卡罗与射线追踪算法在肺癌中的剂量学比较[D]. 北京: 清华大学, 2015.

[28] CAO Y S. Dosimetric comparison between CyberKnife Monte Carlo and ray tracing algorithm in lung cancer[D]. Beijing: Tsinghua University, 2015.

[29] OSMAN S O, RUSSELL E, KING R B, et al. Fiducial markers visibility and artefacts in prostate cancer radiotherapy multi-modality imaging[J]. Radiat Oncol, 2019, 14(1): 237.

[30] 钱金栋, 王运来, 鞠忠建, 等. 金标伪影对CyberKnife射野剂量学影响的计算与测量[J]. 医疗卫生装备, 2014, 35(11): 92-94.

[31] QIAN J D, WANG Y L, JU Z J, et al. Calculation and measurement of effect of gold marker artifact on CyberKnife field dosimetry[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2014, 35(11): 92-94.

(编辑: 薛泽玲)