

## 带金属植入物患者调强放射治疗计划中射野角度设置对剂量计算准确度的影响

赵培峰, 孙彦泽, 周钢

苏州大学附属第二医院放疗科/苏州大学放射肿瘤治疗学研究所/苏州市肿瘤放射治疗重点实验室, 江苏 苏州 215004

**【摘要】目的:**对金属植入物及其伪影在放疗计划中产生的剂量计算偏差进行测试,评估射野角度设置对调强放射治疗(IMRT)计划剂量计算准确度的影响。**方法:**模拟髋关节置换患者,在CIRS调强模体中插入两根不锈钢金属棒。将指形电离室分别置于金属棒所在平面内中间位置的3个点,采用带金属伪影消减技术的CT模拟定位机获取未经校正和校正后的模体图像。在Monaco计划系统中利用两种CT图像,在 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 内每隔 $5^{\circ}$ 设置一个射野( $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ , 100 MU),检测不同入射路径射野的剂量计算偏差。勾画靶区和危及器官,设计5野和7野IMRT计划,每种计划分别设有0、1或2个射野的入射路径通过金属区域,检测射野角度设置对IMRT计划剂量计算偏差的影响。**结果:**入射路径没有通过金属区域的单个射野在未校正及校正后图像中的剂量计算偏差分别为3.24%和1.56%,入射路径通过金属区域时剂量计算偏差分别达到5.51%~72.14%和5.32%~48.19%。在5野IMRT计划中,当有0、1和2个入射路径通过金属区域的射野时,未校正图像的剂量计算偏差分别为3.15%、8.75%和13.33%,校正图像的剂量计算偏差分别为1.54%、5.93%和9.06%;7野IMRT计划中,未校正图像的剂量计算偏差分别为3.03%、5.28%和10.71%,校正图像的剂量计算偏差分别为1.29%、4.38%和7.75%。**结论:**放射治疗计划中入射路径通过金属区域的射野会严重影响剂量计算的准确度,应尽量避免使用这种射野。虽然采用金属伪影消减技术校正CT图像能够改善这种影响,但在IMRT计划中存在两个及以上的这种射野可能导致临床上不可接受的剂量计算偏差。

**【关键词】**金属植入物;调强放射治疗;射野角度;剂量计算

**【中图分类号】**R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2019)08-0882-05

## Effect of field angle setting on dose calculation accuracy in intensity-modulated radiotherapy plans for patients with metal implants

ZHAO Peifeng, SUN Yanze, ZHOU Gang

Department of Radiotherapy Oncology, the Second Affiliated Hospital of Soochow University/Institute of Radiotherapy Oncology, Soochow University/Suzhou Key Laboratory for Radiation Oncology, Suzhou 215004, China

**Abstract: Objective** To measure the dose calculation deviation caused by metal implants and CT image artifacts, and to evaluate the effect of field angle setting on the dose calculation accuracy of intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plans for patients with metal implants. **Methods** With the ionization chamber was placed at 3 points in the middle of the plane, a CIRS phantom with bilateral metal cylindrical steel inserts to simulate patient receiving hip replacement was scanned with CT simulator with metal artifact reduction (MAR) to obtain two image series, namely uncorrected phantom image and phantom image corrected with MAR. In Monaco planning system, a  $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$  field with 100 MU was set up every  $5^{\circ}$  in the range from  $0^{\circ}$  to  $360^{\circ}$  to measure the dose calculation deviation caused by different incident paths. After target areas and organs-at-risk were delineated, 5- and 7-field IMRT plans were designed, and each plan had 0, 1 or 2 fields in which incident paths passed through the metal region. The effect of field angle setting on dose calculation deviation was analyzed. **Results** When the incident path didn't passed through the metal region, the dose calculation deviation on the uncorrected image and the image corrected with MAR was 3.24% and 1.56%, respectively; when it passed through the metal region, the deviation was 5.51%-72.14% and 5.32%-48.19%, respectively. For 5-field IMRT plan, when the number of fields passing through the metal region was 0, 1, 2, respectively, the

**【收稿日期】**2019-04-09

**【基金项目】**江苏省医学创新团队(CXDT-37);苏州市科技发展计划(SS201642)

**【作者简介】**赵培峰, 硕士, 主管技师, 研究方向:肿瘤放射技术, E-mail: zpeifeng2014@qq.com

**【通信作者】**周钢, 硕士, 高级工程师, 研究方向:肿瘤放射物理, E-mail: zhougang0626@163.com

dose calculation deviation was 3.15%, 8.75%, 13.33% on uncorrected image, and 1.54%, 5.93%, 9.06% on the image corrected with MAR. For 7-field IMRT plan, the dose calculation deviation was 3.03%, 5.28%, 10.71% on the uncorrected image, and 1.29%, 4.38% and 7.75% on the image corrected with MAR. **Conclusion** The incident path of the radiation field passing through the metal region which will significantly affect the accuracy of dose calculation should be avoided in IMRT plan. Although the effect can be improved by MAR, the presence of 2 or more such fields in IMRT plan can result in clinically unacceptable dose calculation deviations.

**Keywords:** metal implant; intensity-modulated radiotherapy; field angle; dose calculation

## 前言

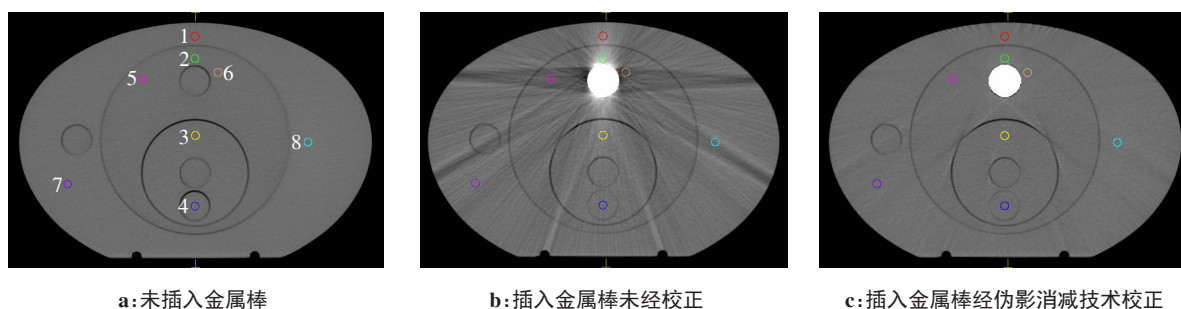
在放射治疗计划系统中患者体内的剂量沉积是根据其CT图像对应的电子密度来计算的,该电子密度由计划系统中的CT值-密度转换曲线得到。因此,图像CT值的准确获取是剂量计算准确的保证<sup>[1-2]</sup>。随着骨科手术技术的进展,越来越多接受放射治疗的患者带有金属植入物(如牙齿填充物、脊柱稳定性植入物或者髋关节替代物等),这些金属植入物以及它们在CT图像中产生的伪影会对放射治疗计划系统的剂量计算产生影响,导致计算结果的偏差<sup>[3-5]</sup>。本研究探讨带有金属伪影的常规CT定位图像在未经处理以及经过金属伪影消减技术(Metal Artifact Reduction, MAR)处理后,射野角度设置对调强放射治疗计划剂量计算偏差的影响,进一步指导临床上带金属植入物患者放射治疗计划的优化设计,提高治疗的准确度。

## 1 材料与方法

### 1.1 图像CT值精确度评价

采用具有图像MAR的大孔径模拟CT(GE, 590RT)进行扫描,获取调强模体(CIRS model 002H9K, Norfolk, VA)未插入金属棒的基准图像和插入不锈钢金属棒(直径2.5 cm)后未使用以及使用MAR校正处理的CT图像。将图像传至Monaco放射治疗计划系统(Version 5.11),在3幅图像的相同位置选取金属棒周围8个不同距离的感兴趣区域(图1)。获取基准图像及带金属棒模体图像中相应区域的平均CT值 $HU_{baseline\ image}$ 和 $HU_{metal\ image}$ (包括校正前与校正后)。利用式(1)计算带金属棒图像在校正前与校正后CT值的误差,评价MAR对图像CT值的校正效果。

$$\Delta HU = |HU_{metal} - HU_{baseline\ image}| \quad (1)$$



a: 未插入金属棒

b: 插入金属棒未经校正

c: 插入金属棒经伪影消减技术校正

图1 CIRS模体的三种CT图像

Fig.1 Three kinds of CT images of CIRS phantom

### 1.2 不同角度的单个适形野照射剂量计算准确度

模拟髋关节置换的患者在模体中插入两根不锈钢金属棒,调整模体的位置,将Farmer电离室(0.6 cc)的有效测量体积分别置于两金属棒所在平面内中间位置相隔2 cm的A、B、C点(图2),扫描获取未使用和使用MAR进行校正的CT图像。将图像传至Monaco计划系统后,勾画出电离室的有效测量体积<sup>[4]</sup>并构建治疗床模型,从而模拟治疗床对剂量的衰减<sup>[6]</sup>。以B点为等中心,在0°~360°内每间隔5°设置一个10 cm×10 cm的方形照射野,机器跳数为100 MU。

采用蒙特卡罗算法对每个射野在A、B、C点的照射剂量进行计算,并按照计划设计要求,在医科达Synergy加速器上对模体进行摆位、照射和测量。记录测量结果,利用式(2)对射野的剂量计算偏差 $\delta$ 进行分析。

$$\delta = \frac{|D_{calculation} - D_{measure}|}{D_{measure}} \times 100\% \quad (2)$$

### 1.3 不同射野角度设置的调强放射治疗计划剂量计算准确度

在插入金属棒并经过MAR校正的模体图像中勾画出靶区PTV(包含A、B、C点)及危及器官,分别

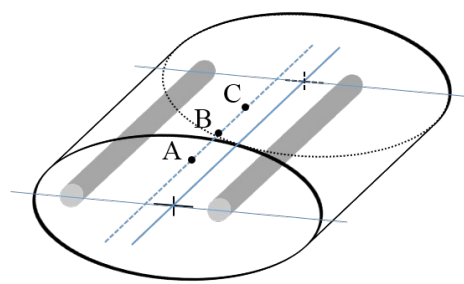
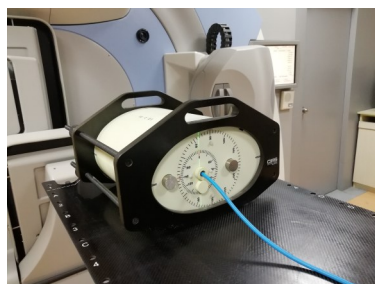
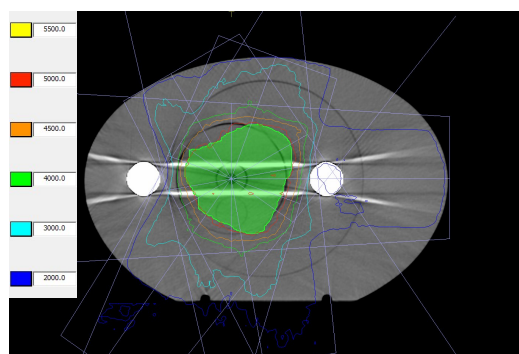


图2 模拟髋关节置换患者的模体(左)及3个剂量测量点示意图(右)

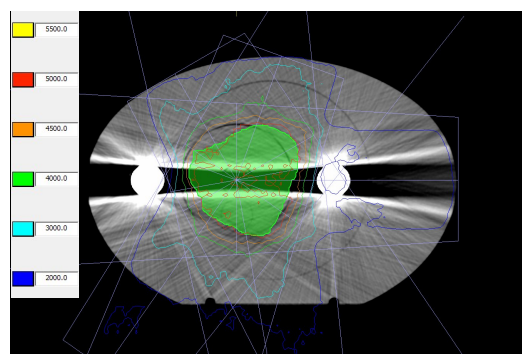
Fig.2 Phantom for simulating hip replacement patient (left) and 3 dose measurement points (right)

设计5野和7野两种类型的调强放射治疗计划,每种计划分别设置0、1或2个射野其入射路径通过金属区域,其他射野的入射路径避开金属区域。所有计划完成时,95%的靶区体积被处方剂量覆盖,靶区最大剂量不超过处方剂量的110%。然后通过图像配准将靶区及危及器官拷贝至未经校正的模体图像中,

调强计划也保持原射野参数不变进行复制,获取未经校正模体图像中的剂量计算结果(图3)。同时,在加速器上按照治疗计划设计的要求对模体实施照射,测量A、B、C点的照射剂量。对比计划系统中的计算结果,利用式(2)对剂量的计算偏差进行分析。



a: 经伪影消减技术处理的CT图像



b: 常规CT图像

图3 5野调强放射治疗计划示例

Fig.3 Example of 5-field intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plan

#### 1.4 统计学分析

在Excel软件中对剂量的计算及测量结果进行统计学分析;采用OriginPro 8.0软件进行数据的拟合及作图比较分析。所有剂量计算偏差的分析结果皆为A、B、C点测量结果的平均值。

## 2 结果

#### 2.1 采样区域的平均CT值

图4所示为标准模体图像以及有无采用MAR处理的带金属模体图像中8个采样区域的平均CT值。在标准模体图像中,CT值的变化范围为-7~8 HU;在未采用MAR处理的带金属模体图像中,CT值的变化范围为-72~184 HU,其中最大偏差为191 HU;采用MAR处理后,CT值的变化范围为-5~25 HU,其中最大偏差为33 HU。

#### 2.2 不同角度的单个适形野剂量计算偏差

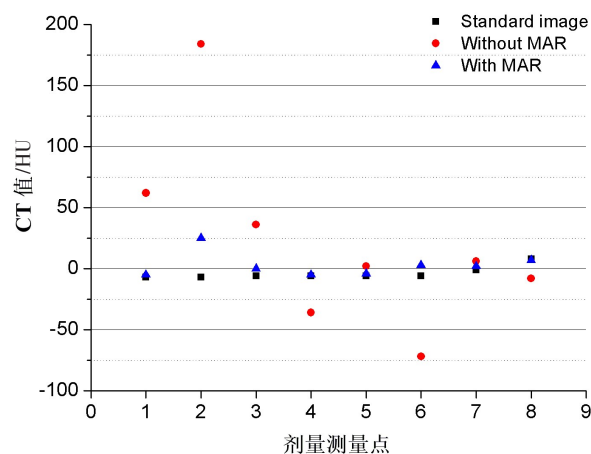


图4 3种CT图像中各采样区域的平均CT值

Fig.4 Average CT value of sampled areas in 3 CT images

不同角度的单个适形野剂量计算偏差如图5所示。在没有经过MAR校正的CT图像中,当射野入



射路径未通过金属区域时,平均剂量计算偏差为3.24%;入射路径通过金属区域(射野角度范围:80°~100°及255°~285°)时,计算偏差明显增大(剂量计算值大于测量值),根据通过金属范围路径的长短不同计算偏差范围可达5.51%~72.14%。在经过MAR校正后的图像中,射野入射路径未通过金属区域时,剂量计算偏差平均值为1.56%;当入射路径通过金属区域时计算偏差也明显增大,偏差范围为5.32%~48.19%。

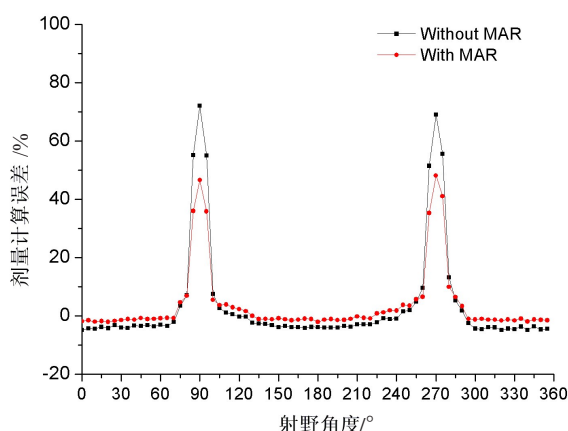


图5 不同射野角度的单个适形射野剂量计算偏差

Fig.5 Dose calculation deviation for single conformal field at different field angles

### 2.3 不同射野角度设置的调强放射治疗计划剂量计算偏差

不同射野角度设置的调强放射治疗计划剂量计算偏差如图6所示。采用未经过MAR处理的图像设计5野IMRT计划,其中入射路径通过金属区域的射野数目分别为0、1、2时,剂量计算偏差分别为3.15%、8.75%和13.33%;7野IMRT计划剂量计算偏差分别为3.03%、5.28%和10.71%。采用经过MAR处理的图像设计5野IMRT计划,当分别有0、1、2个射野其入射路径通过金属区域时,剂量计算偏差分别为1.54%、5.93%和9.06%;7野IMRT计划计算偏差分别为1.29%、4.38%和7.75%。

## 3 讨论

图像中CT值的准确获取是剂量计算准确的保证,金属植入物以及它们在CT图像中产生的伪影会对放射治疗计划系统的剂量计算产生影响。有研究表明,采用16-bit CT图像能更准确地读取放射治疗患者定位图像中金属植入物的CT值,经扩展计划系统中的CT-ED曲线可以提高剂量计算的精确度<sup>[7-8]</sup>。目前大多数放疗单位使用常规12-bit的CT模拟定位

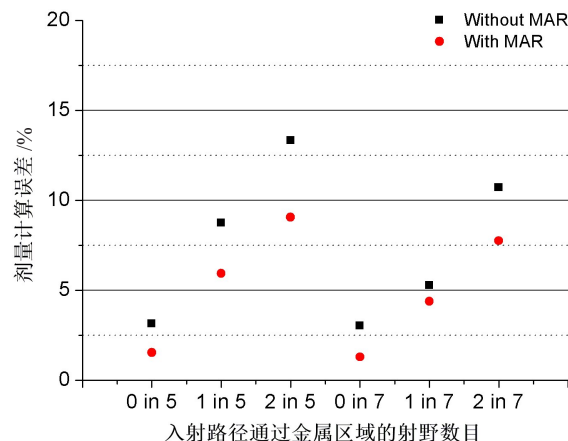


图6 不同射野角度设置的5野和7野调强放疗计划剂量计算偏差

Fig.6 Dose calculation deviation for 5- and 7-field IMRT plans with different field angles

机,图像CT值的显示范围为-1 024~3 071 HU,超过该范围的高密度材料都显示为最大值。患者体内高密度金属植入物的CT值常远大于3 071 HU,所以采用常规CT对这类患者进行放射治疗定位可能会给后续治疗计划的设计带来额外的计算误差<sup>[9-13]</sup>。这种误差主要是由CT图像并没有对被扫描对象的空间结构进行真实描绘(包括金属区域内电子密度描述不准确以及在金属区域外的伪影)而产生,而并非由计划系统的剂量算法等其它因素引起<sup>[14-17]</sup>。如何在采用常规CT对带有金属植入物患者进行模拟定位的放射治疗中评估和减少这部分误差,提高治疗计划剂量计算的准确度,是临床放射治疗工作中值得注意的问题<sup>[18-20]</sup>。

本研究结果显示在常规的CT图像中为带金属植入物的患者设计放射治疗计划时,射野的入射路径通过金属区域将导致较大的剂量计算偏差。由于图像中金属区域的CT值远低于实际值,较低电子密度低估了X射线的衰减,导致计划系统对金属植入物后方组织的计算结果大于实际测量结果。入射路径避开金属区域的射野虽然部分受到金属伪影的影响,但其剂量计算偏差在临床可接受的范围内,而采用MAR对图像进行校正能有效地减少金属伪影,进一步提高剂量计算的准确度。在设计调强放射治疗计划时,采用多个分散的射野有利于增加计划优化的自由度,提高计划质量。在选择射野角度时应尽可能使其入射路径避开金属区域,必要时可以选择非共面的照射野。当靶区周围金属区域分布的范围较大以致射野无法完全避开时,利用伪影校正后的CT图像,选取一通过金属范围路径较短的射野,并尽量减少该射野在整个治疗计划中的比重,从而降低剂量计算的偏差,提高计划结果的可信度。

总之,采用常规CT图像为带金属植入物患者设计放射治疗计划时,射野入射路径通过金属区域会显著影响剂量计算的准确度,在进行计划设计时应尽量避免使用这种射野。采用MAR校正CT图像并减少这种射野的剂量权重能够改善这部分影响,但即便如此,在调强放射治疗计划中存在两个及以上的这种射野时可能导致临床上不可接受的剂量偏差。

## 【参考文献】

- [1] AXENTE M, PAIDI A, VON EYBEN R, et al. Clinical evaluation of the iterative metal artifact reduction algorithm for CT simulation in radiotherapy[J]. *Med Phys*, 2015, 42(3): 1170-1183.
- [2] KIM C, PUA R, LEE C H, et al. An additional tilted-scan-based CT metal-artifact-reduction method for radiation therapy planning[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2019, 20(1): 237-249.
- [3] GIANTSOU DI D, DE MAN B, VERBURG J, et al. Metal artifacts in computed tomography for radiation therapy planning: dosimetric effects and impact of metal artifact reduction[J]. *Phys Med Biol*, 2017, 62(8): R49-R80.
- [4] ZIEMANN C, STILLE M, CREMERS F, et al. Improvement of dose calculation in radiation therapy due to metal artifact correction using the augmented likelihood image reconstruction[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2018, 19(3): 227-233.
- [5] HUANG J Y, FOLLOWILL D S, HOWELL R M, et al. Approaches to reducing photon dose calculation errors near metal implants[J]. *Med Phys*, 2016, 43(9): 5117.
- [6] 张若辉, 白文文, 樊晓妹, 等. Monaco计划系统中构建治疗床模型对放疗剂量控制意义探讨[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2016, 23(2): 105-109.  
ZHANG R H, BAI W W, FAN X M, et al. Significance of modeling the treatment couch in the Monaco treatment planning system for dose control of radiotherapy[J]. *Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment*, 2016, 23(2): 105-109.
- [7] 林涛, 倪昕晔, 高留刚, 等. 对金属植入物模体不同剂量计算方法研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2018, 27(7): 680-684.  
LIN T, NI X Y, GAO L G, et al. Study of different dose calculation algorithms for the phantom of metallic implants[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2018, 27(7): 680-684.
- [8] NI X, GAO L, FANG M, et al. Application of metal implant 16-bit imaging: new technique in radiotherapy[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2017, 16(2): 188-194.
- [9] MAERZ M, MITTERMAIR P, KRAUSS A, et al. Iterative metal artifact reduction improves dose calculation accuracy: phantom study with dental implants[J]. *Strahlenther Onkol*, 2016, 192(6): 403-413.
- [10] LI H, NOEL C, CHEN H, et al. Clinical evaluation of a commercial orthopedic metal artifact reduction tool for CT simulations in radiation therapy[J]. *Med Phys*, 2012, 39(12): 7507-7517.
- [11] LIN M H, LI J, PRICE R A, et al. The dosimetric impact of dental implants on head-and-neck volumetric modulated arc therapy[J]. *Phys Med Biol*, 2013, 58(4): 1027-1040.
- [12] HANSEN C R, CHRISTIANSEN R L, LORENZEN E L, et al. Contouring and dose calculation in head and neck cancer radiotherapy after reduction of metal artifacts in CT images[J]. *Acta Oncol*, 2017, 56(6): 874-878.
- [13] KOHAN A A, RUBBERT C, VERCHER-CONEJERO J L, et al. The impact of orthopedic metal artifact reduction software on interreader variability when delineating areas of interest in the head and neck[J]. *Pract Radiat Oncol*, 2014, 5(4): e309-e315.
- [14] HU Y, PAN S, ZHAO X, et al. Value and clinical application of orthopedic metal artifact reduction algorithm in CT scans after orthopedic metal implantation[J]. *Korean J Radiol*, 2017, 18(3): 526-535.
- [15] ZIEMANN C, STILLE M, CREMERS F, et al. The effects of metal artifact reduction on the retrieval of attenuation values[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2017, 18(1): 243-250.
- [16] HILGERS G, NUVER T, MINKEN A. The CT number accuracy of a novel commercial metal artifact reduction algorithm for large orthopedic implants[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2014, 15(1): 4597.
- [17] SCHMIDT M A, PANEK R, COLGAN R, et al. Slice encoding for metal artefact correction in magnetic resonance imaging examinations for radiotherapy planning[J]. *Radiother Oncol*, 2016, 120(2): 356-362.
- [18] KOVACS D G, RECHNER L A, APPELT A L, et al. Metal artefact reduction for accurate tumour delineation in radiotherapy [J]. *Radiother Oncol*, 2018, 126(3): 479-486.
- [19] TOFTEGAARD J, FLEDELIUS W, SEGHERS D, et al. Moving metal artifact reduction in cone-beam CT scans with implanted cylindrical gold markers[J]. *Med Phys*, 2014, 41(12): 121710.
- [20] KIDOH M, UTSUNOMIYA D, ODA S, et al. CT venography after knee replacement surgery: comparison of dual-energy CT-based monochromatic imaging and single-energy metal artifact reduction techniques on a 320-row CT scanner[J]. *Acta Radiologica Open*, 2017, 6(2): 1-8. DOI: 10.1177/2058460117693463.

(编辑:谭斯允)