

金属施源器对盆腔部位图像配准的影响

余辉, 张书旭

广州医科大学附属肿瘤医院放疗中心, 广东 广州 510095

【摘要】目的:以宫颈癌放疗为实例,探讨金属施源器对盆腔结构图像配准的影响。**方法:**回顾10例已完成外照射和三维后装放疗的宫颈癌患者,其中后装放疗均使用3根金属的Fletcher施源器(1根在宫体,2根在穹窿)。从计划系统导出每一例患者的1套外照射CT图像(I_w)和2套不同分次治疗的后装CT图像(I_{A1} 、 I_{A2})。①外照射与后装图像匹配:以 I_{A2} 为基准,采用三维B样条弹性配准算法,分别在去除和不去除施源器信息的条件下进行配准,以互相关量为配准精度的评价参数(K_1 、 K_2)。②不同分次治疗的后装图像匹配:以 I_{A2} 为基准,采用相同算法,同样在去除和不去除施源器信息的条件下进行配准,并统计互相关量(K_3 、 K_4)。**结果:**外照射与后装图像进行配准, K_1 与 K_2 有显著差异($P=0.005$),两者差值(K_1-K_2)约为-0.83%。不同分次治疗的后装图像进行配准, K_3 与 K_4 有显著差异($P=0.011$),差值约为1.11%。**结论:**在外照射与后装图像进行配准之前,不需要去除金属施源器的信息,但在不同分次治疗的后装图像配准之前,可以考虑去除信息,提高配准精度。

【关键词】宫颈癌;后装治疗;施源器;图像配准

【中图分类号】R730.55

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)07-0683-04

Impacts of metal applicator on registration accuracy of pelvic image

YU Hui, ZHANG Shu-xu

Radiotherapy Center, Affiliated Tumor Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510095, China

Abstract: Objective To discuss on the impacts of metal applicator on the registration accuracy of the pelvic image of cervical cancer patients. **Methods** Ten cervical cancer patients who had been treated with external irradiation and brachytherapy were retrospectively analyzed. Three metal Fletcher applicators, with an applicator in uterine cavity and two applicators in fornix, were used in brachytherapy. For each patient, a set of CT images (I_w) in external irradiation and two sets of CT images (I_{A1} and I_{A2}) in different fractionated brachytherapy were exported by planning system. For the registration of external irradiation and brachytherapy images, taken I_{A2} as the benchmark, three-dimensional B-spline algorithm was used for registering I_w and I_{A2} , with or without the metal applicator information, and the mutual information, K_1 and K_2 , was used to estimate the registration accuracy. For the registration of different fractionated brachytherapy images, taken I_{A2} as the benchmark, the same algorithm was used to register the I_{A1} and I_{A2} , with or without the metal applicator information, and the mutual information, K_3 and K_4 , was statistically analyzed. **Results** For the registration of external irradiation and brachytherapy images, significant differences were found between K_1 and K_2 ($P=0.005$), and the difference value (K_1-K_2) was about -0.83%. For the registration of different fractionated brachytherapy images, significant differences were found between K_3 and K_4 ($P=0.011$), and the difference value was about 1.11%. **Conclusion** Before the registration of external irradiation and brachytherapy images, removing the metal applicator information is not necessary. However, before the registration of different fractionated brachytherapy images, the registration accuracy can be improved by removing the metal applicator information.

Key words: cervical cancer; brachytherapy; applicator; image registration

前言

【收稿日期】2016-01-24

【基金项目】广州市医药卫生科技一般引导项目(20151A011085)

【作者简介】余辉,男,硕士,放疗物理师,E-mail: bme2000-yuhui@163.com

后装技术是宫颈癌放疗的主要手段之一。该技术使用的施源器按材质分为两类:金属钢和碳纤维。前者在CT影像中呈现出高密度信号,并在施源器的周围产生一定的金属伪影,影响图像质量。后者则不产生金属伪影,呈现与软组织相近的密度信号,有较好的成像质量,在国外临床已经被广泛使

用^[1-4],但其价格昂贵,目前国内,只有少数几家大型放疗单位使用,绝大多数放疗单位仍然使用金属施源器。

为了避免靶区欠剂量或重要器官超量,在设计一个新的三维后装放疗计划时,须考虑宫颈癌患者即往放疗的累积剂量。具体做法是:通过图像配准技术,将即往外照射剂量和既往后装照射剂量,形变到新的后装图像。可见,在即往累积剂量基础之上,设计一个新的后装放疗计划,首先须提高图像配准的速度和精度。由于金属施源器在后装图像中具有高信号的CT值,而外照射图像没有施源器的信息,那么,在后装图像与外照射图像进行配准时,金属施源器可能会影响到匹配的精度。另外,后装放疗通常使用多根施源器,在不同分次间,这些施源器的位置会有所变化(2~5 mm)^[5-7],那么,在新、旧后装图像进行配准时,相邻施源器的CT像素可能会发生错误的交叉形变,或向施源器周围的金属伪影发生形变,从而影响匹配的精度。本文将采用 Microsoft Visual Studio 2008 VC++为工具,自行开发软件,采用三维B样条弹性配准算法,探讨金属施源器对盆腔部位图像配准的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾2015年1月至2015年6月间10例已完成外照射和三维后装放疗的宫颈癌患者,其中后装治疗均采用3根金属的Fletcher施源器(1根在子宫腔内,2根在穹窿位置)。Nucletron Oncentra V3.1计划系统分别导出他们的1套外照射CT图像和2套不同分次治疗的后装CT图像,即每个患者有3套CT图像。选择图像范围均从第4椎体下缘至耻骨联合下缘,层厚5 mm,层间距5 mm。

1.2 方法

1.2.1 图像预处理 对于每个患者的3套CT图像,均去除皮肤轮廓以外的信息,然后,以最后一次后装治疗的CT图像为基准,对其余2套CT图像进行比例缩放,则3套CT图像的体素空间大小均相同。

1.2.2 配准算法 本文先采用 Visualization Toolkit (VTK)V5.3工具包,将待配准的两套CT图像分别生成两个以VTK为后缀的文件,再采用 Elastix V4.2工具包的3次B样条变换算法进行弹性配准。Elastix工具包是基于 Insight Segmentation and Registration Toolkit (ITK)工具包的开放源软件,它集成了许多常用的图像配准算法,能处理大容量多模态医学图像的非刚性配准。本文算法实现过程是:采用4层金字

塔结构,每层循环迭代500次,随机坐标采样,双线性图像插值,标准高斯优化,均方差测度,3次B样条弹性变换。此配准算法在作者既往发表的论文中均有详述^[8-9],在此略过。

1.2.3 配准精度的评价方法 目前两幅图像之间相似度评价方法主要有均方和、兰氏距离、互相关量等^[10]。其中,互相关量法是通过计算两幅图像之间的互相关值,确定匹配精度。本文采用归一化的互相关量来衡量外照射图像与后装图像之间配准精度,以及不同分次治疗后装图像之间的配准精度。

归一化的互相关量的数学表达式^[11]为:

$$NMI(A, B) = \frac{H(A) + H(B)}{H(A, B)}, \text{ 式中 } H(A) \text{ 和 } H(B) \text{ 分别为图}$$

像A和B的边缘熵, $H(A, B)$ 为图像A和B的联合熵。

1.2.4 外照射与后装图像配准 对于每个患者,以最后一次后装治疗CT图像(I_{A2})为参考图像,外照射CT图像(I_W)为浮动图像。① I_W 与 I_{A2} 进行匹配,得到配准结果图像(I_{R1}),以互相关量为配准精度的评价参数,分别统计 I_W 与 I_{A2} 、 I_{R1} 与 I_{A2} 的互相关量(MI_{WA2} 和 MI_{R1A2}),然后计算本文配准算法对提高配准精度的百分比: $K_1 = (MI_{R1A2} - MI_{WA2}) / MI_{WA2} \times 100\%$ 。② 去除金属施源器的信息:将后装图像 I_{A2} 中的施源器(CT值>100)替换为宫体组织(CT值=45),同时将阴道部位的空气和绷纱(CT值≤0)替换为阴道组织(CT值=35)。③ 以去除金属施源器的后装图像为参考图像,并与 I_W 进行匹配,得到配准结果图像(I_{R2}),然后统计 I_{R2} 与 I_{A2} 的互相关量(MI_{R2A2}),并计算 $K_2 = (MI_{R2A2} - MI_{WA2}) / MI_{WA2} \times 100\%$ 。④ 比较 K_1 和 K_2 ,得出金属施源器对外照射与后装图像配准精度的影响。

1.2.5 不同分次治疗的后装图像配准 对于每个患者,以最后一次后装治疗的CT图像(I_{A2})为参考图像,另外一套后装图像(I_{A1})为浮动图像。① I_{A1} 与 I_{A2} 进行匹配,得到配准结果图像(I_{R3}),然后统计 I_{A1} 与 I_{A2} 、 I_{R3} 与 I_{A2} 的互相关量(MI_{A1A2} 和 MI_{R3A2}),并计算 $K_3 = (MI_{R3A2} - MI_{A1A2}) / MI_{A1A2} \times 100\%$ 。② 按上述1.2.3的方法,分别去除 I_{A1} 与 I_{A2} 的金属施源器信息,然后两者进行匹配,得到配准结果图像(I_{R4})。③ 将 I_{A2} 的施源器信息回填到 I_{R4} ,然后统计 I_{R4} 与 I_{A2} 的互相关量(MI_{R4A2}),并计算 $K_4 = (MI_{R4A2} - MI_{A1A2}) / MI_{A1A2} \times 100\%$ 。④ 比较 K_3 和 K_4 ,得出金属施源器对不同分次治疗的后装图像配准精度的影响。

1.3 统计学方法

采用 SPSS Statistics 19 软件,分别对10组 K_1 与 K_2 和10组 K_3 与 K_4 作非参数检验(两个关联样本 Wilcoxon test)。

2 结果

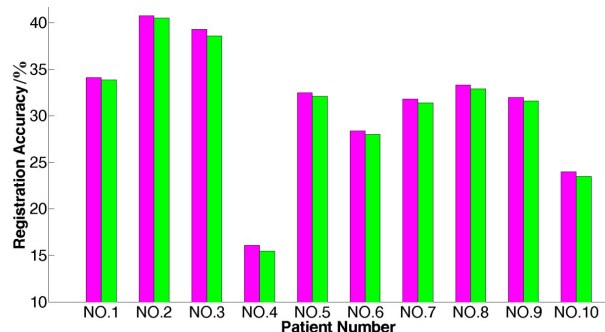
外照射与后装图像进行配准,去除施源器信息的前后,配准精度 K_1 与 K_2 有显著差异($P=0.005$),从图1可看出,去除施源器的配准精度 K_2 均小于 K_1 ,平均降低约0.83%。

不同分次的后装图像进行配准,去除信息的前后, K_3 与 K_4 有显著差异($P=0.011$),从图2可看,去除施源器的配准精度 K_4 均大于 K_3 ,平均提高约1.11%。

在没有去除施源器的条件下,不同分次的后装图像进行配准,相邻层面的施源器矢量方向均不一致(图3),使得施源器在形变图像中变得弯曲和缩细(图4)。

3 讨论

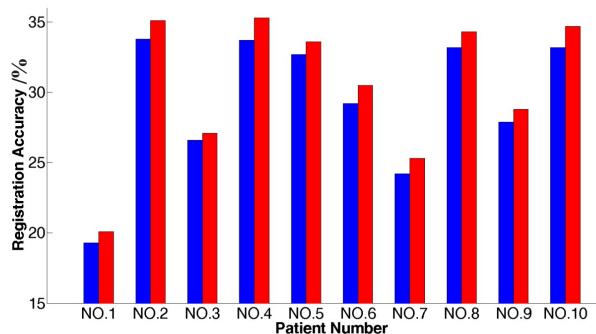
在宫颈癌放疗中,患者体质量减轻、肿瘤退缩、直肠和膀胱充盈程度、小肠蠕动等因素都会从三维方向



The pink pillar represented the registration accuracy before removing the metal applicator, and the green pillar represented the registration accuracy after removing the metal applicator.

图1 后装图像与外照射图像配准时金属施源器对配准精度的影响

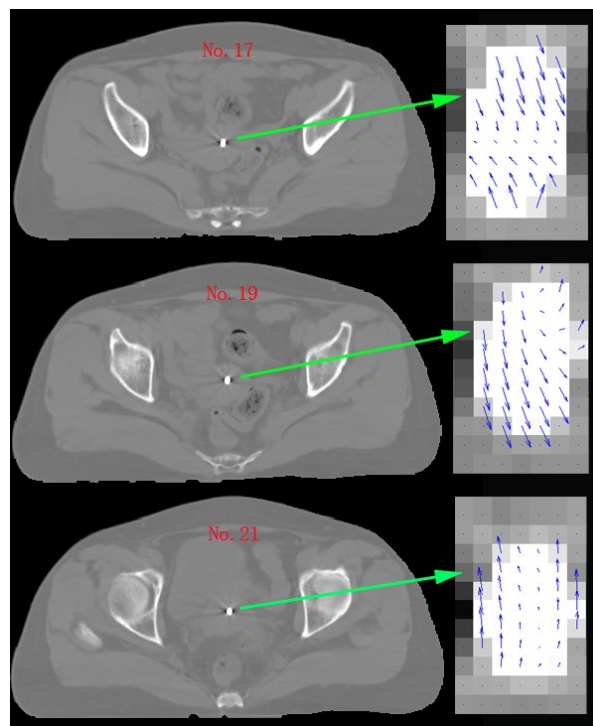
Fig.1 Impacts of metal applicator on registration accuracy of brachytherapy images and external radiation images



The blue pillar represented the registration accuracy before removing the metal applicator, and the red pillar represented the registration accuracy after removing the metal applicator.

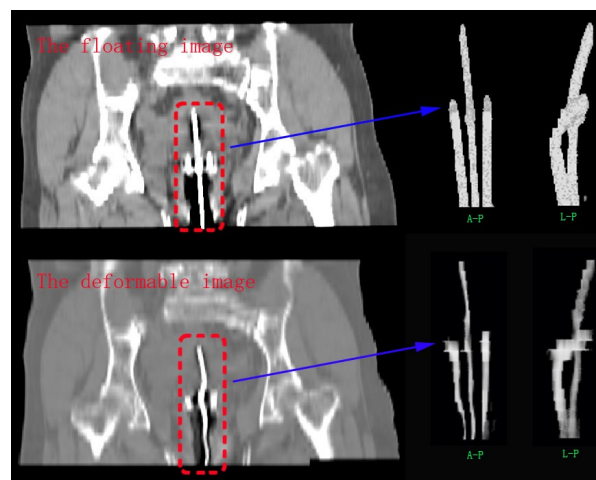
图2 不同分次的后装CT图像配准时金属施源器对配准精度的影响

Fig.2 Impacts of metal applicator on the registration accuracy of different fractionated brachytherapy images



The vector directions of metal applicator were inconsistent, and the applicator would be bent in the deformable images.

图3 不同分次治疗的后装图像配准中金属施源器的形变矢量场
Fig.3 Deformable vector fields of metal applicator in registration of different fractionated brachytherapy images



The metal applicators were bent and thinned in the deformable image, but the metal applicators were normal in the floating image.

图4 不同分次的后装图像配准时金属施源器的形变效果图
Fig.4 Deformable image of metal applicators in registration of different fractionated brachytherapy images

上改变盆腔部位的解剖影像,而不是单纯的二维方向改变^[12-15]。因此,在外照射CT图像与后装CT图像、不同分次治疗的后装图像进行匹配时,均须采用三维弹性配准技术。外照射技术与后装技术相互结合是宫颈癌放疗的标准方案,精确累积这两种放疗技术的剂量

对预防肿瘤靶区欠剂量和重要器官超量有重要的指导意义,而精确剂量累积的关键是提高图像配准的精度。在本文实验中,在配准前后,外照射图像与后装图像的配准精度可提高15%~40%,不同分次后装治疗的配准精度可提高19%~37%,说明本文采用的三维B样条弹性配准算法能有效提高配准精度。

外照射CT图像通常没有高信号的金属施源器信息,在子宫体周围也没有骨组织,因此外照射图像作为浮动图像,在图像配准时,其子宫部位的体素移动方向不会受金属施源器信息及其周围金属伪影的影响。图1可见,去除施源器的信息并不能提高外照射与后装图像的配准精度,反而略降。但在,对不同分次治疗的后装图像进行配准,由于多根施源器的空间距离较近,其体素可能会发生错误的移动,或者移向金属伪影的位置,从而带动施源器附近的组织也发生错误形变,若以此形变场对即往剂量进行累加,则可能会产生错误的剂量信息。倘若在不同分次治疗间,使用的施源器数量增多或使用多个不同规格的施源器(比如,在Fletcher施源器周围插入多根针状的金属施源器),则可能会带来更多的误差。图4可见金属施源器在配准后变细小和弯曲,分析它的形变过程,发现第17层体素向中间靠拢,引起施源器变细,第19层和第21层的体素大致往相反的方向移动(图3),引起施源器变得弯曲。因此,本文认为,在匹配不同分次的后装图像之前,可以考虑去除金属施源器的信息,有助于提高配准精度(图2)。由于宫体只占整个盆腔结构的一小部分,此部位的形变大小对统计互相关量不会有太多的影响,所以去除金属施源器前后的配准精度的变化均在 $\pm 1.2\%$ 以内。

【参考文献】

- [1] BAHADUR Y A, CONSTANTINESCU C T, HASSOUNA A H, et al. Treatment planning for high dose rate brachytherapy of cervical cancer based on total dose constraints[J]. Saudi Med J, 2011, 32(5): 495-503.
- [2] ADAMSON J, NEWTON J, YANG Y, et al. Commissioning a CT-compatible LDR tandem and ovoid applicator using Monte Carlo calculation and 3D dosimetry[J]. Med Phys, 2012, 39(7): 4515-23.
- [3] 王先良,康盛伟,黎杰,等.施源器对 ^{192}Ir 源近距离治疗剂量的影响[J].中华放射肿瘤学杂志,2015,24(5): 585-587.
WANG X L, KANG S W, LI J, et al. Impacts of applicators on ^{192}Ir brachytherapy dosimetry [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2015, 24(5): 585-587.
- [4] 王先良,王培,袁珂,等.施源器材料和厚度对近距离放射治疗剂量的影响[J].肿瘤预防与治疗,2015,28(2): 67-70.
WANG X L, WANG P, YUAN K, et al. A dosimetry study of applicator material and thickness in brachytherapy [J]. Journal of Cancer Control and Treatment, 2015, 28(2): 67-70.
- [5] 洪卫,汪莹,陈征,等.用锥形束CT技术测量三维后装与外照射调强融合放疗中施源器位置及外照射摆位误差[J].肿瘤预防与治疗,2012,25(4): 224-229.
HONG W, WANG Y, CHEN Z, et al. Measuring the applicator position and the interfraction setting-up errors by cone beam CT in brachytherapy combined intensity-modulated radiation therapy [J]. Journal of Cancer Control and Treatment, 2012, 25(4): 224-229.
- [6] 应微,万斌,吴德全,等.宫颈癌腔内、体外联合照射时施源器位置误差分析[J].肿瘤预防与治疗,2012,25(6): 348-350.
YING W, WANG B, WU D Q, et al. The source device uncertainty analysis of cervical carcinoma accepted external irradiation combined with after-loading radiotherapy [J]. Journal of Cancer Control and Treatment, 2012, 25(6): 348-350.
- [7] 徐志健. CT引导下宫颈癌三维近距离治疗中施源器移位及剂量分布的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
XU Z J. Research on applicator shifts and dose distributions in 3D CT-based brachytherapy for cervical cancer [D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [8] 余辉,张书旭. 4DCT图像二维配准与三维配准的区别[J]. 医疗装备, 2011, 24(7): 6-8.
YU H, ZHANG S X. The difference between 2D and 3D registration of 4DCT images [J]. Chinese Journal of Medical Device, 2011, 24(7): 6-8.
- [9] YU H, ZHANG S X, WANG R H, et al. The feasibility of mapping dose distribution of 4DCT images with deformable image registration in lung [J]. Biomed Mater Eng, 2014, 24(1): 145-153.
- [10] 张密,吴效明. 放疗中基于灰度的图像配准算法性能研究[J]. 医疗卫生装备, 2009, 30(5): 12-15.
ZHANG M, WU X M. Performance research of gray-scale image registration algorithm in radiotherapy [J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2009, 30(5): 12-15.
- [11] 梅跃松,杨树兴,莫波. 一种改进的基于互信息的自动图像配准算法[J]. 激光与红外, 2007, 37(5): 470-473.
MEI Y S, YANG S X, MO B. An improved automatic image registration algorithm based on mutual information [J]. Laser and Infrared, 2007, 37(5): 470-473.
- [12] AHMAD R, HOOGE MAN M S, QUINT S, et al. Inter-fraction bladder filling variations and time trends for cervical cancer patients assessed with a portable 3-dimensional ultrasound bladder scanner [J]. Radiother Oncol, 2008, 89(2): 172-179.
- [13] 毛睿,何艳芬,齐洪志,等. 膀胱充盈状态对宫颈癌术后调强放疗靶区和危及器官的影响[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2013, 27(8): 794-796.
MAO R, HE Y F, QI H Z, et al. Impacts of bladder status on target volume and OAR in intensity-modulated radiotherapy for cervical cancer [J]. Journal of Chinese Practical Diagnosis and Therapy, 2013, 27(8): 794-796.
- [14] 雷怀宇,张书旭. 膀胱容积变化对盆腔肿瘤放疗的影响[J]. 肿瘤基础与临床, 2015, 28(1): 90-92.
LEI H Y, ZHANG S X. Impacts of bladder volume on tumor of pelvis in radiotherapy [J]. Journal of Basic and Clinical Oncology, 2015, 28(1): 90-92.
- [15] 李伊,孔令玲. 宫颈癌调强放疗中膀胱状态对靶区及危及器官影响[J]. 安徽医学, 2015, 36(6): 656-659.
LI Y, KONG L L. Impacts of bladder status on target volume and OAR in intensity-modulated radiotherapy for cervical cancer [J]. Anhui Medical Journal, 2015, 36(6): 656-659.

(编辑:黄开颜)