

SBRT治疗中脊柱辅助摆位条件下金标追踪的精度检测与评价

徐慧军,段学章,朴俊杰,徐飞

解放军第302医院肿瘤放射治疗中心,北京 100039

【摘要】目的:利用仿真人和肺部动态模体,在脊柱辅助摆位情况下,检测射波刀体部立体定向放射治疗(SBRT)金标追踪的精度并对其应用价值进行评价。**方法:**利用CT扫描装有胶片的模体,然后分别设计1、2、3、4、5、6颗金标追踪的模体计划以及脊柱辅助摆位计划。每个模体计划重复执行3次,利用E2E软件分析照射精度,取平均值。**结果:**仿真人模体检测结果:1和2颗金标(脊柱辅助摆位)的照射精度为1.11和1.05 mm,3、4、5和6颗金标的照射精度分别为1.07、0.92、0.97和1.15 mm。肺部动态模体检测结果:1和2颗金标(脊柱辅助摆位)的照射精度为1.03和0.70 mm,3、4、5和6颗金标的照射精度分别为0.58、1.02、0.65和0.96 mm。**结论:**对于相对静态的肿瘤和运动的肿瘤,如果肿瘤在旋转方向与脊柱相对一致,使用1和2颗金标追踪的精度与3~6颗金标追踪具有同等照射精度。当金标数量不足时,可以采用脊柱辅助摆位金标追踪。

【关键词】体部立体定向放射治疗;脊柱;辅助摆位;金标追踪;精度

【中图分类号】 R730.55

【文献标识码】 A

【文章编号】 1005-202X(2016)03-0270-04

Accuracy detection and evaluation of fiducial tracking in stereotactic body radiotherapy with spine auxiliary setup

XU Hui-jun, DUAN Xue-zhang, PIAO Jun-jie, XU Fei

Radiotherapy Center of Oncology, 302nd Hospital of Chinese People's Liberation Army, Beijing 100039, China

Abstract: Objective To detect the accuracy of fiducial tracking in Cyberknife stereotactic body radiotherapy (SBRT) with spine auxiliary setup and evaluate the application value by utilizing the anthropomorphic man and dynamic phantom of lungs. **Methods** Phantoms with films were scanned by CT. The spinal auxiliary setup plan and phantom plans of fiducial tracking respectively with 1, 2, 3, 4, 5 and 6 gold seeds were designed. Each phantom plan was repeatedly implemented 3 times. The radiation accuracies were analyzed by E2E software, and the mean value was acquired. **Results** The detecting results of anthropomorphic phantom showed that the radiation accuracies of 1 and 2 gold seeds, with spinal auxiliary setup, were respectively 1.11 and 1.05 mm; the radiation accuracies of 3, 4, 5 and 6 gold seeds were respectively 1.07, 0.92, 0.97 and 1.15 mm. The detecting results of dynamic phantom of lungs showed that the radiation accuracies of 1 and 2 gold seeds, with spinal auxiliary setup, were respectively 1.03 and 0.70 mm; the radiation accuracies of 3, 4, 5 and 6 gold seeds were respectively 0.58, 1.02, 0.65 and 0.96 mm. **Conclusion** For the relatively static tumor and dynamic tumor, the radiation accuracies of using 1 and 2 gold seeds for tracking are the same as those of using 3-6 gold seeds when the rotating direction of tumor is consistent with spine. When the number of seeds is not enough, fiducial tracking with spinal auxiliary setup can solve the problem.

Key words: stereotactic body radiotherapy; spine; auxiliary setup; fiducial tracking; accuracy

【收稿日期】 2015-12-05

【基金项目】 首都临床特色应用研究与成果推广项目(z151100004015002)

【作者简介】 徐慧军(1982-), 硕士, 物理师。Tel: 010-66933257; E-mail: huijunxu2008@sina.com。

【通信作者】 段学章(1970-), 男, 博士后, 硕士生导师, 主要从事肿瘤放射治疗和化疗。Tel: 13621386161; E-mail: 13621386161@163.com。

前言

射波刀是一种具有图像引导功能和治疗中实时追踪的立体定向放射治疗设备。利用射波刀开展体部立体定向放射治疗(SBRT)不仅要具备放疗技术,还要掌握穿刺技术,而后者对放疗科医生来说是个挑战^[1]。软组织(如肝、胆、胰、肺等)缺少可被追踪的骨性结构,需

要在肿瘤内或旁植入4~6颗金标,以金标为参照物,通过对金标追踪实现对肿瘤的高精确照射^[2]。金标植入是一种微创手术,具有一定的风险性,会引起气胸、肝内出血等问题。同时,植入的金标要符合植入原则(间距大于2 cm、45°角不共线、两两连线角度大于15°等)^[3]。在实际操作中,由于植入术中器官的运动、植入位置的限制、植入技术的水平、金标移位等因素,会使植入的金标数量和质量上无法满足追踪要求^[3]。当金标数量少于3颗时,往往采用脊柱辅助摆位提供旋转偏差,然后再进行金标追踪。利用脊柱辅助摆位,金标追踪时可以解决金标数量不足的问题,但其精度目前没有专门的模体进行验证。笔者利用仿真人模体和肺部动态模体进行检测,为验证射波刀临床应用中金标追踪的精度提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

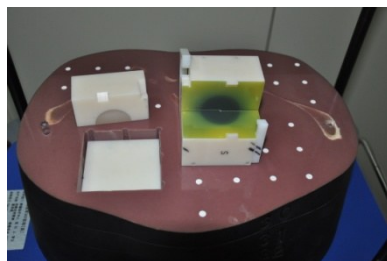
G4射波刀(ACCURAY公司,美国),MultiPlan 4.0治疗计划系统,RAN100仿真人全身模体(男性模体),球方模体,肺部动态模体(LTT Phantom Kit, CIRS公司),EBT3胶片,爱普生V700扫描仪,E2E分析软件。金标规格:0.8 mm×5 mm,纯度为99.99%。

1.2 方法

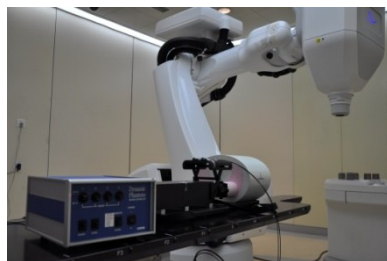
扫描之前,在肺部动态模体靶区周围植入6颗金标。利用CT扫描装有胶片的仿真人模体和肺部动态模体(图1),层厚1 mm,进行垂直、无间距、静态扫描^[4]。仿真人模体计划:把球方内圆球作为照射区域,准直器为25 mm。肺部动态模体计划:把肺部模体内的圆球靶区作为照射区域,准直器15 mm。等中心计划:70%的剂量曲线给予420 cGy,追踪金标数量分别为1~6颗。若追踪金标数量为1颗和2颗,选择临近靶区的一段脊柱设计一个辅助摆位计划^[5]。仿真人模体设计一个脊柱追踪计划,用于与金标追踪精度进行对比。

球方内安装EBT3胶片,执行上述6组模体计划。金标数量少于3颗的,首先利用脊柱辅助摆位计划进行3个旋转方向的位置修正,然后再执行金标追踪计划。扫描照射后的EBT3胶片,利用E2E软件对仿真人和肺部动态模体的照射结果进行分析,对比1和2颗金标联合脊柱辅助摆位与3、4、5和6颗金标追踪的精度。

2 结果



a: Anthropomorphic phantom, sphere cubic phantom and EBT3 film



b: Dynamic phantom of lungs

图1 模体验证

Fig.1 Verification phantoms

2.1 仿真人模体验证结果

仿真人模体为静态验证,整个模体中的组织与金标的位置关系是固定的。1颗和2颗金标联合脊柱辅助摆位平均照射精度为1.11和1.05 mm。3、4、5和6颗金标的平均照射精度分别为1.07、0.92、0.97和1.15 mm。这6种情况下的追踪精度为 (1.00 ± 0.15) mm,偏差很小,可以认为它们具有同等的照射精度。为了进行更好的对比,更清楚地认识静态模体的特殊性,对同一靶区采用脊柱追踪,平均精度为1.13 mm。由此可以看出金标联合脊柱辅助摆位、3颗及3颗以上金标追踪、脊柱追踪这三者对于静态模体具有同等的照射精度,均优于1.5 mm。从表1可以看出,1~6颗金标追踪的精度在L、A(A/L)、S、A(A/S)和A方向上的相对偏差非常小。

2.2 肺部动态模体验证结果

该模体模拟人的肺部组织结构和肺部肿瘤的运动,“肿瘤”的周边植入有6颗金标,用以验证射波刀追踪动态肿瘤的精度。1、2颗金标联合脊柱辅助摆位的平均照射精度为1.03和0.70 mm,3、4、5和6颗金标的照射精度分别为0.58、1.02、0.65和0.96 mm。6种条件下的追踪精度为 (1.00 ± 0.42) mm,均小于1.5 mm,可以认为它们具有同等的照射精度。从表2可以看出,1~6颗金标追踪的精度在L、A(A/L)、S、A(A/S)和A方向上的相对偏差非常小。

表1 仿真人模体不同数量金标追踪的照射精度(mm)

Tab.1 Radiation accuracy of fiducial tracking with different numbers of seeds in anthropomorphic phantom (mm)

Direction	1 seed	2 seeds	3 seeds	4 seeds	5 seeds	6 seeds	Spine
Left error	-0.37	-0.30	-0.27	-0.23	-0.35	-0.24	-0.45
Anterior error (A/L image)	0.97	0.83	0.58	0.65	0.56	0.62	0.62
Superior error	-0.74	-0.91	-0.88	-0.67	-0.75	-0.97	-0.88
Anterior error (A/S image)	0.71	0.64	0.50	0.51	0.46	0.52	0.68
Average anterior error	0.69	0.74	0.54	0.58	0.51	0.57	0.65
Total targeting error	1.11	1.05	1.07	0.92	0.97	1.15	1.13

S, L and A stand for the superior, left and anterior directions of phantom, respectively.

表2 肺部动态模体不同数量金标追踪的照射精度(mm)

Tab.2 Radiation accuracy of fiducial tracking with different numbers of seeds in dynamic phantom of lungs (mm)

Direction	1 seed	2 seeds	3 seeds	4 seeds	5 seeds	6 seeds
Left error	-0.53	-0.50	-0.31	-0.57	0.10	-0.29
Anterior error (A/L image)	-0.08	0.01	-0.13	-1.12	-0.26	-0.70
Superior error	0.87	0.40	0.46	0.03	0.60	0.54
Anterior error (A/S image)	-0.26	-0.56	-0.26	-0.57	-0.17	-0.79
Average anterior error	-0.17	-0.28	-0.19	-0.84	-0.21	-0.74
Total targeting error	1.03	0.70	0.58	1.02	0.65	0.96

3 讨论

金标追踪是射波刀对软组织实施高精确照射的一种重要追踪方式,治疗前一对互成 90° 千伏级X线影像系统获取金标组的立体空间位置,并与治疗计划设计时重建的金标位置进行配准,计算位置偏差,引导摆位^[6]。治疗过程中,间隔一定的时间获取金标的位置,检测、计算金标的位置偏差,并同步传输至机械手进行自动修正,以实现治疗中肿瘤的实时追踪。对于动态器官中的肿瘤(如肝、肺、胰腺肿瘤等),将影像系统获取的体内金标动度(内运动)与同步呼吸追踪系统获取的患者体表动度(外运动)在时间上进行关联,建立起患者的呼吸模型,实现肿瘤的四维照射^[7]。

在肿瘤内或旁植入4~6颗金标,在立体空间中,这些金标组能够很好地反应肿瘤的位置和呼吸动度,从而可以金标为参照物追踪、照射肿瘤。植入的金标必须符合植入原则,才能够用于追踪,数量少于3颗就只能进行3个平移方向上的修正,多于3颗则可以计算六维偏差^[8]。由于植入技术水平、植入位置、医疗风险、追踪难度、金标移位、不符合植入原则

等因素导致用于追踪的金标数量少于3颗,通常采用脊柱辅助摆位联合金标追踪。该方法利用与靶区相邻的一段脊柱进行辅助摆位,目的是为照射提供旋转偏差。笔者对其照射精度进行了验证,以期为临床治疗提供依据^[9]。

仿真人模体是静态模体,因此其腹部区域的器官也是静态的,但人体腹部器官是运动的,因此仿真人模体中测量的结果只能作为静态模体验证的结果^[6]。在CT定位和照射中,模体内的金标、脊柱与靶区三者的相对位置是十分固定的,因此利用1和2颗金标照射的精度与3~6颗金标照射以及单纯脊柱追踪的精度基本相同。在实际治疗中,如果肿瘤与脊柱的位置相对固定,可以利用脊柱辅助摆位金标追踪,或者直接使用脊柱追踪,实现肿瘤的高精确照射。

肺部模体为动态模体,与人体肺部结构相似,内部的“肿瘤”能够上下(头/脚)方向往复运动,因此模体只是模拟肿瘤在一个方向上的运动,无法模拟肿瘤的旋转、前后和左右运动^[10]。对于1和2颗金标追踪计划,执行时首先利用脊柱获取靶区在3个旋转方向上的偏差,退出脊柱辅助计划,然后再进入金标追

踪计划,利用金标获取3个平移上的偏差。此时已得到了肿瘤的6维偏差,照射时联合同步呼吸追踪照射靶区。该测试是一种端到端测试,验证的是整个系统和过程的照射精度,包括CT定位、计划设计、剂量计算、影像引导、机械臂、呼吸追踪、照射等。从表2可以看出,照射精度均优于1.5 mm,1和2颗金标照射的精度与3~6颗基本相同。该模体中脊柱与肿瘤在旋转方向上的相对位置是固定的,而身体中肝脏、肺等器官的肿瘤由于自身运动和肺部呼吸动度的影响,存在平移和旋转运动,旋转偏差并不与脊柱一致,因此该验证只能作为参考。

总之,对于相对静态的肿瘤和运动的肿瘤,如果肿瘤在旋转方向与脊柱相对一致,使用1和2颗金标追踪的精度与3~6颗金标追踪具有同等照射精度。当金标数量不足时可以采用脊柱辅助摆位金标追踪,从而可以很好地解决金标数量不足的问题。

【参考文献】

- [1] SOTIROPOULOU E, STATHOCHRISTOPOULOU I, STATHOPOULOS K, et al. CT-guided fiducial placement for Cyberknife stereotactic radiosurgery: an initial experience [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2010, 33(3): 586-589.
- [2] WUNDERINK W, MÉNDEZ ROMERO A, DE KRUIJF W, et al. Reduction of respiratory liver tumor motion by abdominal compression in stereotactic body frame, analyzed by tracking fiducial markers implanted in liver [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 71(3): 907-915.
- [3] MALLARAJAPATNA G J, SUSHEELA S P, KALLUR K G, et al. Technical note: image guided internal fiducial placement for stereotactic radiosurgery (CyberKnife) [J]. *Indian J Radiol Imaging*, 2011, 21(1): 3-5.
- [4] ANTYPAS C, PANTELIS E. Performance evaluation of a Cyberknife G4 image-guided robotic stereotactic radiosurgery system [J]. *Phys Med Biol*, 2008, 53(17): 4697-4718.
- [5] PANTELIS E, PETROKOKKINOS L, ANTYPAS C. Image guidance quality assurance of a G4 Cyberknife robotic stereotactic radiosurgery system [J]. *J Instrument*, 2009(5): P05009-P05009.
- [6] DIETERICH S. Quality assurance for robotic radiosurgery: report of the AAPM task group 135 [J]. *Med Phys*, 2011, 38(6): 2924-2926.
- [7] HOOGEMAN M, PRÉVOST J B, NUYTENS J, et al. Clinical accuracy of the respiratory tumor tracking system of the Cyberknife: assessment by analysis of log files [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 74(1): 297-303.
- [8] MU Z, FU D, KUDUVALI G. A probabilistic framework based on hidden markov model for fiducial identification in image-guided radiation treatments [J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2008, 27(9): 1288-1300.
- [9] HO A K, FU D, COTRUTZ C, et al. A study of the accuracy of Cyberknife spinal radiosurgery using skeletal structure tracking [J]. *Neurosurgery*, 2007, 60(2 Suppl 1): S147-S156.
- [10] LEE C. Airway migration of lung fiducial marker after autologous blood-patch injection [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2012, 35(3): 711-713.
- [11] LIU S L. Relationship between parotid/submandibular lands / thyroid glands morphologic changes and radiation dose in nasopharyngeal carcinoma [D]. Shantou University, 2011.
- [12] ZHANG X, LI M, CAO J, et al. Dosimetric variations of target volumes and organs at risk in nasopharyngeal carcinoma intensity-modulated radiotherapy [J]. *Br J Radiol*, 2012, 85(1016): 506-513.
- [13] 丁妍妍. 鼻咽癌调强放疗过程中危及器官物理计划剂量与实际受照剂量差异性观察的研究 [D]. 兰州大学, 2013.
- [14] DING Y Y. The difference between the physical planning doses and the actual doses of organ at risk during the course intensity-modulated radiotherapy nasopharyngeal carcinoma [D]. Lanzhou University, 2013.
- [15] BELTRAN M, RAMOS M, ROVIRA J J, et al. Dose variations in tumor volumes and organs at risk during IMRT for head-and-neck cancer [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2012, 13(6): 3723-3734.
- [16] 叶奕菁. 两次调强适形放射治疗计划治疗局部晚期鼻咽癌的临床疗效 [J]. *医学临床研究*, 2014, 31(8): 1497-1499.
- [17] YE Y J. Clinical efficacy of twice intensity modulated radiation therapy plans for locally advanced nasopharyngeal carcinoma [J]. *Journal of Clinical Research*, 2014, 31(8): 1497-1499.
- [18] WANG W, YANG H, HU W, et al. Clinical study of the necessity of replanning before the 25th fraction during the course of intensity-modulated radiotherapy for patients with nasopharyngeal carcinoma [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 77: 617-621.
- [19] WU Q, CHI Y, CHEN P Y, et al. Adaptive replanning strategies accounting for shrinkage in head and neck IMRT [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 75(3): 924-932.
- [20] CHEN C, LIN X, PAN J, et al. Is it necessary to repeat CT imaging and replanning during the course of intensity-modulated radiation therapy for locoregionally advanced nasopharyngeal carcinoma [J]. *Jpn J Radiol*, 2013, 31(9): 593-599.
- [21] WANG R H, ZHANG S X, ZHOU L H, et al. Volume and dosimetric variations during two-phase adaptive intensity-modulated radiotherapy for locally advanced nasopharyngeal carcinoma [J]. *Biomed Mater Eng*, 2014, 24(1): 1217-1225.
- [22] YANG H, TU Y, WANG W, et al. A comparison of anatomical and dosimetric variations in the first 15 fractions, and between fractions 16 and 25, of intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. *Appl Clin Med Phys*, 2013, 14(6): 3918.
- [23] 王微, 杨海华, 单国平, 等. 鼻咽癌在调强放射治疗15次和25次时重新计划时机的研究 [J]. *肿瘤学杂志*, 2012, 18(1): 10-14.
- [24] WANG W, YANG H H, SHAN G P, et al. Clinical study of optimal timing of replanning at the 15th and 25th fraction during IMRT for patient with nasopharyngeal carcinoma [J]. *Journal of Oncology*, 2012, 18(1): 10-14.
- [25] ZHANG X, LI M, CAO J, et al. Dosimetric variations of target volumes and organs at risk in nasopharyngeal carcinoma intensity-modulated radiotherapy [J]. *Br J Radiol*, 2012, 85(1016): 505-513.
- [26] LIU C X, KONG X D, GONG G Z, et al. Error in the parotid contour delineated using computed tomography images rather than magnetic resonance images during radiotherapy planning for nasopharyngeal carcinoma [J]. *Jpn J Radiol*, 2014, 32(4): 211-216.
- [27] 叶玲, 刘晓清, 周琦超, 等. 个体化口腔支架在鼻咽癌患者调强放疗中应用的剂量分析 [J]. *中山大学学报(医学科学版)*, 2014, 35(1): 74-79.
- [28] YE L, LIU X Q, ZHOU Q C, et al. Dosimetric analysis of individual dental stent in intensity modulated radiation therapy for nasopharyngeal carcinoma patients [J]. *Journal of Sun Yat-sen University (Medical Sciences)*, 2014, 35(1): 74-79.

(上接261页)