

分次内锥形束 CT 扫描联合 Fraxion 放疗体位固定系统在颅内肿瘤立体定向放疗中的应用

应 微, 李晓阳, 刘力豪, 李林涛

(四川省肿瘤医院, 四川 成都 610041)

摘要: [目的] 探讨分次内 CT 扫描联合 Fraxion 体位固定系统在颅内肿瘤立体定向放疗(SRT)中的应用。[方法] 随机选取 25 例行 SRT 的颅内肿瘤放疗患者, 应用 Fraxion 框架固定后行 CT 扫描, 扫描图像与计划参考图像配准, 得到左右(LR)、头脚(SI)、前后方向(AP)的平移误差和绕左右(Roll LR)、绕头脚(Roll SI)、绕前后方向(Roll AP)的旋转误差。用六维治疗床校正摆位误差, 行 SRT 治疗同时行分次内 CT 扫描。再次配准, 并记录结果逐弧配准, 重复此步骤直到治疗结束。[结果] 该组患者首次配准 LR、SI、AP 方向的平移误差和 Roll LR、Roll SI、Roll AP 的旋转误差分别为 (0.35 ± 0.12) cm、 (0.39 ± 0.10) cm、 (0.33 ± 0.10) cm 和 $(1.56 \pm 0.26)^\circ$ 、 $(0.53 \pm 0.29)^\circ$ 、 $(0.48 \pm 0.28)^\circ$, 平移误差均在 4 mm 以内, 旋转误差 $< 2^\circ$, 分次内 CT 扫描误差分别为 (0.19 ± 0.05) cm、 (0.18 ± 0.07) cm、 (0.14 ± 0.06) cm 和 $(0.32 \pm 0.13)^\circ$ 、 $(0.31 \pm 0.10)^\circ$ 、 $(0.31 \pm 0.14)^\circ$, 平移误差减小, 控制在 0.2 cm 以内, 旋转误差在 0.4° 以内, 两两比较差异有统计学意义(P 均 < 0.05)。[结论] 分次内 CT 扫描联合 Fraxion 框架在颅内肿瘤 SRT 中是行之有效的, 在治疗时间稍长的情况下保证治疗精度。建议在行 SRT 时, 采用分次内 CT 扫描逐弧体位验证以减少治疗中的误差。

关键词: 分次内锥形束 CT 扫描; Fraxion 放疗体位固定系统; 六维移动治疗床; 摆位误差

中图分类号: R730.55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-170X(2020)05-0424-04

doi: 10.11735/j.issn.1671-170X.2020.05.B011

Application of Intra-fraction Cone Beam CT Combined with Fraxion Localization System of Radiotherapy in Stereotactic Radiotherapy of Intracranial Tumors

YING Wei, LI Xiao-yang, LIU Li-hao, LI Lin-tao

(Sichuan Cancer Hospital, Chengdu 610041, China)

Abstract: [Objective] To evaluate the application of intra-fraction cone beam CT(CBCT) combined with fraxion localization system in stereotactic radiotherapy (SRT) of intracranial tumors. [Methods] Twenty-five patients with intracranial tumor undergoing SRT were enrolled in the study. Fraxion localization system fixtures and CBCT scan were performed before each stereotactic radiotherapy, the scanned pictures were matched with the plan reference images. The setup errors on left-right(LR), superior-inferior(SI) and anterior-post(AP) directions, rotation errors on roll left-right(Roll LR), roll superior-inferior(Roll SI) and roll anterior-post(Roll AP) were obtained. Six-degree bed was used to correct the setup error. Then SRT was performed and split intra-fraction cone beam CT(CBCT) was performed at the same time. The setup errors and rotation errors were obtained again then six-degree bed was used to correct the errors. This step was repeated until the treatment is finished. [Results] The first errors of 25 patients were (0.35 ± 0.12) cm, (0.39 ± 0.10) cm, (0.33 ± 0.10) cm and $(1.56 \pm 0.26)^\circ$, $(0.53 \pm 0.29)^\circ$, $(0.48 \pm 0.28)^\circ$ on LR, SI and AP directions rotation errors on Roll LR, Roll SI, and Roll AP, respectively. The translation error was within 4 mm and the rotation error is less than 2° . The errors of intra-fraction cone beam CT (CBCT) were (0.19 ± 0.05) cm, (0.18 ± 0.07) cm, (0.14 ± 0.06) cm and $(0.32 \pm 0.13)^\circ$, $(0.31 \pm 0.10)^\circ$, $(0.31 \pm 0.14)^\circ$ on LR, SI and AP directions, rotation errors on Roll LR, Roll SI, and Roll AP, respectively. The translation errors were reduced to within 0.2 cm, while the rotation errors were also controlled to within 0.4° . The difference between the two was statistically significant(all $P < 0.05$). [Conclusion] Application of intra-fraction cone beam CT combined with fraxion localization system in SRT of intracranial tumors is feasible. The accuracy of treatment can be ensured under the condition that the treatment time is slightly longer. During SRT of intracranial tumors, it is necessary to perform arc by arc setup error verification.

Subject words: intra-fraction cone beam CT; fraxion localization system of radiotherapy; six-degree bed; setup error

立体定向放疗是颅内肿瘤常用的有效治疗方法

基金项目: 四川省科技计划项目(2019JDKP0057)

通信作者: 李林涛, 主管技师, 学士; 四川省肿瘤医院放疗中心, 四川省成都市
人民南路4段55号(610041); E-mail: 1061851320@qq.com

收稿日期: 2020-01-03; 修回日期: 2020-03-17

之一, 精确固定及定位技术是保证立体定向放疗精度的关键^[1]。Fraxion 放疗体位固定系统是将 Fraxion 框架、真空垫头枕、热塑性面罩、口含牙垫相结合, 使头架与治疗床连接在一起, 患者上颌和口含片连接

在一起,以确保体位的准确性^[2]。在治疗前,采用锥形束 CT 扫描进行治疗前位置验证,治疗同时行分次内锥形束 CT 扫描以指导下一弧的治疗,达到逐弧体位验证。本研究统计分析 25 例颅内肿瘤立体定向放疗(stereotactic radiotherapy,SRT)分次内的摆位误差,讨论颅内肿瘤立体定向放疗进行分次内体位验证的必要性和 Fraxion 放疗体位固定系统的临床应用^[3]。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2018 年 11 月至 2019 年 5 月期间经病理证实的颅内肿瘤患者中脑转移瘤 25 例,平均年龄 65 岁。25 例患者共完成 103 次治疗,分次剂量 5~20Gy。

1.2 主要设备

Fraxion 放疗体位固定系统 (Elekta 公司);16 排大孔径螺旋 CT 定位机(Philips 公司);Monaco 计划系统;Infinity 直线加速器、锥形束 CT、分次内锥形束 CT 成像系统及影像处理系统(Elekta 公司),六维移动放疗床(Elekta 公司)。

1.3 治疗前准备

1.3.1 制作牙垫

牙垫即固定在患者上颌的牙印模。选择大小合适的牙垫,在其内侧涂上黏合剂,干燥 5min 以上。在牙垫中填满牙印模材料,然后将模塞入患者口中,按压到位 4min 左右,直到牙印模材料硬化,确保在软颌和硬颌的接合处填充足够的牙印模材料,保证使用牙垫时的密闭性。连接抽吸装置至牙垫和控制装置,打开真空泵,调节使患者口中真空度达到 30%~40%(Figure 1)。

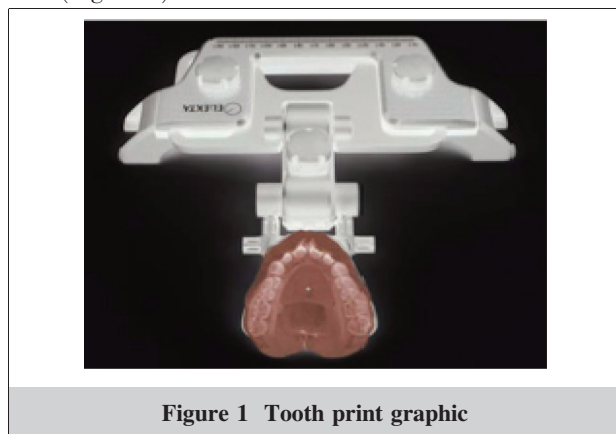


Figure 1 Tooth print graphic

1.3.2 头枕制作

选择大小合适的真空头枕放到 Fraxion 头架支板上,患者躺下,头置于垫上,抽真空塑型(真空度 $\geq 70\%$)。

1.3.3 热塑性面罩塑型

将面罩在热水中加热至 65℃,约 4min 直至透明状,放置到患者头面部,固定热塑性面罩,沿着患者鼻子左右两侧、以及前额方向按压热塑性面罩,使其贴附患者颅内成形,直到面罩变坚硬为止。

1.3.4 CT 模拟定位

CT 床面固定 Fraxion 头架,安放牙垫,固定患者体位并连接抽吸装置。安装坐标框,行 CT 模拟定位机(Philips Brilliance™ CT BigBore)定位扫描,层厚和层距均为 3mm,扫描范围自颅顶至颈 4 椎体。重建后传到治疗计划系统进行治疗计划设计并做好位置标记。

1.3.5 制作计划

由医师勾画靶区给出剂量,物理师完成计划设计,将治疗计划和影像数据传输到治疗加速器和 CBCT 图像引导系统,并计算出相应的摆位参数。

1.3.6 验证与治疗

位置验证:采用模拟 CT 定位时体位和热塑头膜及 Fraxion 头架及牙垫按照上述 3 的步骤固定患者颅内,根据摆位参数摆位,启动加速器机载锥形束 CT 进行扫描(扫描参数:120KV、150mAs、CBCT Mode 为 Head and Neck)获取治疗部位三维影像,并与患者 CT 模拟定位图像进行配准,匹配方式为骨性与灰度匹配(Figure 2)。记录患者体位在左右(left-right, LR)、头脚(superior-inferior, SI)、前后方向(an-

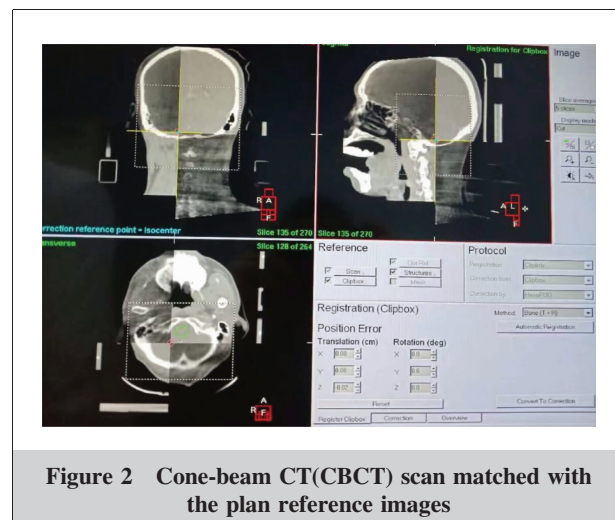


Figure 2 Cone-beam CT(CBCT) scan matched with the plan reference images

terior-post, AP)方向上的平移误差和绕左右(roll left-right, Roll LR)、绕头脚(roll superior-inferior, Roll SI)、绕前后方向(roll superior-inferior, Roll AP)的旋转误差。根据图像配准结果,由六维度移动治疗床进行快速的位置调整^[4-5]。

治疗与分次内误差统计:启动 Infinity 直线加速器进行第一个弧的治疗(6MV/10MVFFF 模式,剂量率 1400~2200Mu/min),治疗同时启动加速器机载锥形束 CT (CBCT) 的进行分次内扫描(扫描参数:120KV、150mAs、CBCT Mode 为 Head and Neck)获取治疗中治疗部位三维影像,并与患者 CT 模拟定位图像进行配准。得到患者体位在左右(LR)、头脚(SI)、前后(AP)方向上的平移误差和绕 LR、SI、AP 方向的旋转误差并记录。根据图像配准结果,由六维度移动治疗床进行快速的位置调整。然后行下一弧的治疗并逐弧进行分次内扫描配准和治疗(对于非共面弧在床转角 0° 时进行位置验证)。

1.4 统计学处理

采用 SPSS 22.0 软件分析患者 LR、SI、AP 方向平移误差和绕 LR、SI、AP 方向旋转误差,并进行配对 *t* 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

25 例行 SRT 的颅内肿瘤放疗患者共进行 103 次治疗,得到 103 组分次间配准数据(Table 1)。分次间配准数据中 3 个线性误差均值均 $< 0.4\text{cm}$, 3 个旋转误差均值均 $< 2^\circ$, 其中 Roll SI、Roll AP 较小, Roll LR 稍大,但均控制在可接受范围。25 例行 SRT 的颅内肿瘤放疗患者治疗中获得 226 组分次内配准数据(Table 2)。226 组分次内配准数据中 3 个线性误差均值均 $< 0.2\text{cm}$, 3 个旋转误差均 $< 0.4^\circ$, 其中 Roll SI、Roll AP 较小, Roll LR 稍大,均控制在可接受范围。

分次间和分次内配准均值变化(Figure 3),分次内在 LR、SI、AP 方向及绕 LR、SI、AP 方向的均值均比分次间各方向减小。分次间和分次内两组数据比较结果显示,分次内平移误差和旋转

误差较分次内的平移误差和旋转误差均减小,两两比较差异有统计学意义(P 均 < 0.05)(Table 3)。

3 讨论

随着放疗技术的发展,立体定向放疗已成为颅内肿瘤放疗的趋势。立体定向放疗的特点是单次剂

Table 1 CBCT scan before each stereotactic radiotherapy of 25 SRT intracranial tumor patients

Error	AVG $\pm$ SD	Median	Max	Min
LR	0.35 $\pm$ 0.12	0.37	0.49	0.13
SI	0.39 $\pm$ 0.10	0.43	0.49	0.10
AP	0.33 $\pm$ 0.10	0.33	0.46	0.09
Roll LR	1.56 $\pm$ 0.26	1.6	1.9	1.0
Roll SI	0.53 $\pm$ 0.29	0.6	1.4	0.1
Roll AP	0.48 $\pm$ 0.28	0.5	1.3	0.0

Table 2 Intra-fraction cone beam CT(CBCT) of 25 intracranial tumor patients with SRT

Error	AVG $\pm$ SD	Median	Max	Min
LR'	0.19 $\pm$ 0.05	0.19	0.29	0.12
SI'	0.18 $\pm$ 0.07	0.18	0.28	0.01
AP'	0.14 $\pm$ 0.06	0.13	0.26	0.05
Roll LR'	0.32 $\pm$ 0.13	0.4	0.5	0.0
Roll SI'	0.31 $\pm$ 0.10	0.4	0.5	0.0
Roll AP'	0.31 $\pm$ 0.14	0.4	0.5	0.0

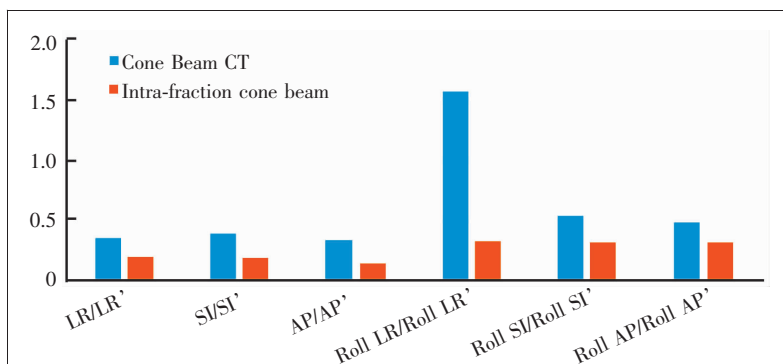


Figure 3 The AVG of cone beam CT and intra-fraction cone beam CT

Table 3 The difference between CBCT scan with intra-fraction cone beam CT

Item	AVG	SD	SE	95%CI	P
LR-LR'	0.14	0.11	0.02	0.10~0.19	0.02
SI-SI'	0.21	0.09	0.02	-0.32~0.08	0.02
AP-AP'	0.18	0.09	0.02	-0.33~0.30	0.01
Roll LR-Roll LR'	1.24	0.18	0.04	-0.86~-0.21	<0.01
Roll SI-Roll SI'	0.22	0.24	0.05	-0.14~0.30	0.01
Roll AP-Roll AP'	0.18	0.21	0.05	-0.32~0.08	<0.01

量大、分割次数少,高剂量区与肿瘤靶区高度适形。因此,在治疗过程中,患者体位变化可能造成靶区漏照,以及高剂量区移至 OAR 区域内,造成严重并发症和后遗症^[6-8]。因此,行 SRT 的颅内肿瘤放疗患者必须进行图像引导以减小摆位误差及分次内的误差来保证靶区位置精度^[9]。

本研究应用热塑头膜加 Fraxion 头架及牙垫固定患者颅内,使患者上颌与牙垫结合为一体,摆位后用 CBCT 扫描获取的三维影像与患者 CT 模拟定位图像进行配准,得到三维方向的平移误差和旋转误差,其中首次摆位平移误差均在 0.4cm 以内,旋转误差 $<2^{\circ}$,符合头部立体定向放疗摆位误差阈值设置(平移误差 0.5~1.0mm,旋转误差 $0.5^{\circ}\sim 2.0^{\circ}$),且研究此平移误差和旋转误差对 PTV 剂量分布的影响可忽略^[10-11],说明应用 Fraxion 头架进行颅内立体定向放疗体位固定,能够保证靶区的治疗精度和重复性,具有临床应用价值。由于治疗时间较长,且分次剂量大,我们在治疗过程中进行了分次内锥形束 CT 扫描得到了平移误差和旋转误差,统计分析显示平移误差进一步减小,均在 0.2cm 以内,而旋转误差 $<0.4^{\circ}$ 。分析分次内误差主要原因为非 0° 床角旋转治疗时治疗床机械精度,治疗时间偏长患者不自主运动引起等。虽然平移误差和旋转误差进一步减小, P 均 <0.02 ,其差异有统计学意义,但由于 SRT 治疗颅内肿瘤分次剂量很大,分次内摆位误差验证校正是非常有必要的。

综上,应用 Fraxion 头架进行体位固定,配合六维移动治疗床在颅内立体定向放疗是可行的,平移误差和旋转误差均控制在可接受范围。但是,由于立体定向放疗治疗时间长、单次剂量大,建议采用分次内锥形束 CT(CBCT)扫描逐弧体位验证以减少治疗中的误差,为临床放疗提供质量保证。

参考文献:

- [1] Khan L, Soliman H, Sahgal A, et al. External beam radiation dose escalation for high grade glioma [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2016, 19(8): CD011475.
- [2] Xue Q, Lu W, Zhang YJ, et al. Application of different immobilization techniques in cone beam CT-guided radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. Cancer Control Treat, 2019, 32(1): 67-71. [薛青, 陆维, 张艳俊, 等. 探讨不同固定方式在鼻咽癌放疗中的应用[J]. 肿瘤预防与治疗, 2019, 32(1): 67-71.]
- [3] Hugo GD, Yan D, Liang J, et al. Population and patient-specific target margins for 4D adaptive radiotherapy to account for intra-and inter-fraction variation in lung tumour position [J]. Phys Med Biol, 2007, 52(1): 257-274.
- [4] Guckenberger M, Meyer J, Willbert J, et al. Precision of image-guided radiotherapy (IGRT) in six degrees of freedom and limitations in clinical practice [J]. Strahlenther Onkol, 2007, 183(6): 307-313.
- [5] Lei X, Brian T, Eduard S. Overview of image-guide radiation therapy [J]. Med Dosimetry, 2006, 31(2): 91-112.
- [6] Yin WB, Yu ZH, Xu GZ, et al. Radiation Oncology [M]. Beijing: Peking Union Medical College Press, 2008. 192. [殷蔚伯, 余子豪, 徐国镇, 等. 肿瘤放疗学[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2008. 192.]
- [7] Guckenberger M, Meyer J, Vordermark D, et al. Magnitude and clinical relevance of translational and rotational patient setup errors: a cone-beam CT study [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 65(3): 934-942.
- [8] Sun XH, Tan LN, Wang ZF, et al. Feasibility of CBCT on-line registration by target areas in stereotactic body radiotherapy for lung cancer [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(3): 282-286. [孙晓欢, 谭丽娜, 王中飞等. 肺癌立体定向体部放疗以靶区为准进行锥形束 CT 在线配准的可行性研究[J]. 中国医学物理杂志, 2019, 36(3): 282-286.]
- [9] Cui XL, Zhang LW, Fei ZL, et al. Effect of setup errors on dosimetric distribution in intracranial stereotactic radiotherapy [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(9): 1008-1012. [崔相利, 张利伟, 费振乐, 等. 摆位误差对脑立体定向放射治疗剂量分布的影响[J]. 中国医学物理杂志, 2019, 36(9): 1008-1012.]
- [10] Takakura T, Mizowaki T, Nakata M, et al. The geometric accuracy of frameless stereotactic radiosurgery using a 6D robotic couch system [J]. Phys Med Biol, 2010, 55(1): 1-10.
- [11] Létourneau D, Wong JW, Oldham M, et al. Cone-beam-CT guided radiation therapy: technical implementation [J]. Radiother Oncol, 2005, 75(3): 279-286.