

3D 打印个体化非共面模板辅助粒子植入时定位与复位误差研究

姜玉良 李宾 吉喆 郭福新 孙海涛 范京红 李旭 张路静 王俊杰

100191 北京大学第三医院肿瘤放疗科(姜玉良、吉喆、郭福新、孙海涛、范京红、李旭、张路静、王俊杰);471000 洛阳,郑州大学附属洛阳中心医院肿瘤放疗科(李宾)

通信作者:王俊杰,Email:junjiewang_edu@sina.cn

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.12.007

【摘要】 目的 探讨 3D 打印个体化非共面模板(简称 3D 模板)辅助放射性¹²⁵I 粒子植入治疗中定位和复位时的误差。方法 选取 2015—2016 年收治的 41 例 3D 模板辅助粒子植入治疗患者。术前 2 日行 CT 扫描模拟定位。根据肿瘤靶区位置、深度的图像信息行 3D 模板针道设计、打印模板。术前 3D 模板复位,对术前定位计划 3D 模板位置和复位时 3D 模板位置的 x 轴(左右)、 y 轴(头脚)进行对比分析,并对不同部位、体位 3D 模板复位与术前摆位误差进行分析。结果 头颈部、胸部和盆腔粒子植入术前计划 3D 模板定位 x 、 y 轴与复位时 3D 模板位置平均绝对误差分别为 (1.77 ± 1.09) 、 (2.66 ± 1.65) 、 (4.00 ± 1.41) 、 (5.22 ± 1.85) 、 (1.88 ± 1.29) 和 (2.52 ± 1.37) mm。与胸部相比,头颈部和盆腔部的 x 和 y 轴方向位置误差差异有统计学意义($t = -3.730$ 、 -3.080 、 -3.944 、 -4.519 , $P < 0.05$);其余结果差异无统计学意义($P > 0.05$)。结论 3D 模板辅助放射性粒子植入联合 CT 模拟定位技术对模板定位、复位具有很好的校正作用,误差小、精度高,值得临床普及和推广。

【关键词】 3D 打印; 模板; 放射性粒子植入; 误差

基金项目: 首都临床特色应用研究与成果推广项目(Z151100004015171)

Analysis of position errors of 3D printing individual non-coplanar template for radioactive seed implantation for malignant tumor Jiang Yuliang, Li Bin, Ji Zhe, Guo Fuxin, Sun Haitao, Fan Jinghong, Li Xu, Zhang Lujing, Wang Junjie

Department of Radiation Oncology, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China (Jiang YL, Ji Z, Guo FX, Sun HT, Fan JH, Li X, Zhang LJ, Wang JJ); Department of Radiation Oncology, Luoyang Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University, Luoyang 471000, China (Li B)

Corresponding author: Wang Junjie, Email: junjiewang_edu@sina.cn

【Abstract】 **Objective** To investigate the accuracy and errors of 3D printing individual non-coplanar template (3D printing template) for ¹²⁵I seed implantation in head and neck, thoracic and pelvic recurrent carcinoma. **Methods** From 2015 to 2016, a total of 41 patients treated with ¹²⁵I seed implantation under 3D printing template were analyzed. All of them were conducted with CT-simulator scan two days before operation. The x and y axis position errors of 3D printing template between pre- and intro-operation plan, and set-up error in different site and position were analyzed. **Results** The x and y axis 3D individual non-coplanar template set-up position errors in head and neck, thoracic and pelvic location were (1.77 ± 1.09) , (2.66 ± 1.65) , (4.00 ± 1.41) , (5.22 ± 1.85) , (1.88 ± 1.29) and (2.52 ± 1.37) mm, respectively. Compared with thoracic, statistically significant difference was found in the head and neck and pelvic in x and y axis position errors ($t = -3.730$, -3.080 , -3.944 , -4.519 , $P < 0.05$). No statistically significant difference was observed in other results ($P < 0.05$). **Conclusions** 3D printing individual non-coplanar template assistant I-125 seed implantation are more accurate and efficiency.

【Key words】 3D printing; Template; Radioactive seed implantation; Errors

Fund program: Capital Characteristic Clinic Project (Z151100004015171)

3D 打印个性化非共面模板辅助放射性粒子植入是组织间近距离治疗领域一大技术进步^[1], 该技术对提高粒子植入治疗精度、缩短治疗时间和提高疗效具有十分重要意义。既往前列腺癌粒子治疗, 通过术中超声引导结合单平面模板实现三维空间粒子植入, 以准确达到术前剂量学要求。2002 年, 中国学者将 CT 引导技术引入放射性粒子植入治疗领域, 拓宽了粒子治疗精度和应用范围^[2-3]。但该技术准确实施术前计划上仍有一定难度。2014 年, 北京大学第三医院设计和研发体部 3D 打印个性化非共面模板, 并尝试利用三维激光定位系统指导 3D 模板定位、复位, 以保证粒子植入治疗时模板位置的精准。本研究初步对 41 例 3D 模板定位、复位位置和精度进行回顾性分析, 探讨 3D 模板在放射性¹²⁵I 粒子植入治疗中的应用价值。

资料与方法

1. 临床资料: 选取北京大学第三医院肿瘤放疗科 2015—2016 年 4 月收治的 41 例 3D 模板辅助放射性¹²⁵I 粒子植入患者, 男性 19 例, 女性 22 例, 平均年龄(55.4 ± 7.9) 岁。病例入选标准包括: KPS ≥ 60, 预计生存期 > 6 个月, 年龄 18 ~ 70 岁, 有病理或细胞学检查确诊, 有客观可测量的肿瘤病灶, 最大直径 ≤ 7 cm, 有可操作的穿刺路径, 没有广泛坏死和瘘, 血常规、肝功能、肾功能等正常。粒子植入部位包括: 头颈部复发转移癌 9 例, 胸部复发转移癌 9 例、盆腔复发转移癌 23 例。患者手术体位包括: 仰卧位 21 例, 俯卧位 16 例, 侧卧位 4 例。

2. 仪器和设备: 患者术前定位采用德国 LAP 公司 LAPLaser 三维激光定位系统。荷兰 Philips 公司生产的 Brilliance Bigbore CT 机进行术前定位。近距离放射治疗计划设计利用北京航空航天大学图像中心研发的放射性粒子植入计划系统(KL-SIRPS-3D)。

3. CT 扫描: 41 例患者体位固定方式均采用负压真空垫固定^[4-5]。术前模拟定位, CT 扫描层厚 1 或 5 mm, 根据 CT 扫描图像确定肿瘤范围。选择肿瘤靶区与骨性结构最易判断位置对应的层面或肿瘤最大径对应层面的体表投影为定位针标记点。将三维移动激光线调至皮肤定位针标记点, 上下、左右、前后 3 个方向上画出体表十字线, 设置金属标记。增强 CT 扫描, 将图像传至粒子治疗计划系统, 勾画靶区, 制定术前计划。设计穿刺针数目, 针道方向、深度, 定义处方剂量和危及器官剂量, 多次优

化, 直到达到处方剂量要求为止。3D 模板打印, 模板表面标记 x 、 y 轴坐标线信息, 1 ~ 2 个工作日后手术。术前复位重复定位流程, 体位与术前定位时一致, 利用激光定位技术确定 3D 模板与人体体表标记线的关系, 完全吻合后插植固定针, CT 强化扫描。对比术前和复位时 3D 模板位置误差, 分别对比 x 轴方向(左右)、 y 轴方向(头脚)术前计划与复位时 3D 模板位置的误差。复位后 3D 模板各轴向误差 < 3 mm 时不需要调整模板位置, ≥ 3 mm 时需调整模板位置, 以保证穿刺针的位置、方向、深度的精确。根据放射性粒子植入时不同部位、不同体位分别探讨术前计划 3D 模板位置与复位时模板位置的误差, 并进行统计学分析。

4. 统计学处理: 数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示。使用 SPSS 19.0 软件进行分析, 组间数据比较采用独立样本 t 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 不同部位位置误差: 不同体位 3D 模板复位位置误差结果列于表 1。患者头颈部、胸部、盆腔部 x 和 y 轴方向位置误差分别为(1.77 ± 1.09) 和(2.66 ± 1.65)、(4.00 ± 1.41) 和(5.22 ± 1.85)、(1.88 ± 1.29) 和(2.52 ± 1.37) mm。与胸部相比, 头颈部和盆腔部 x 和 y 轴方向位置误差差异有统计学意义($t = -3.730$ 、 -3.080 、 -3.944 、 -4.519 , $P < 0.05$), 其余结果差异无统计学意义($P > 0.05$)。

表 1 不同部位和体位患者粒子植入时定位与复位位置误差(mm, $\bar{x} \pm s$)

Table 1 Position errors of 3D printing individual non-coplanar template for ¹²⁵I seed implantation in head and neck, thoracic and pelvic recurrent carcinoma (mm, $\bar{x} \pm s$)

项目	例数	x 轴	y 轴
部位			
胸部	9	4.00 ± 1.41	5.22 ± 1.85
头颈部	9	1.77 ± 1.09 ^a	2.66 ± 1.65 ^a
盆腔	23	1.88 ± 1.29 ^a	2.52 ± 1.37 ^a
体位			
仰卧位	21	2.38 ± 1.52	3.33 ± 1.65
俯卧位	16	2.34 ± 1.67	2.13 ± 1.55
侧卧位	4	3.00 ± 2.25	2.75 ± 1.71

注: ^a与胸部相比, $t = -3.730$ 、 -3.080 、 -3.944 、 -4.519 , $P < 0.05$

2. 不同体位位置误差: 患者仰卧位、俯卧位、侧卧位 x 和 y 轴方向位置误差分别为(2.38 ± 1.52) 和(3.33 ± 1.65)、(2.34 ± 1.67) 和(3.00 ± 2.25)、

(2.13 ± 1.55) 和 (2.75 ± 1.71) mm。不同体位位置误差结果差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

讨 论

放射性¹²⁵I 粒子植入技术已广泛应用于头颈部、胸部、腹部、盆腔复发转移或难治性恶性肿瘤治疗,疗效显著^[6-8]。CT 引导技术的出现,使粒子植入治疗精度、疗效进一步提高^[9]。放射性¹²⁵I 粒子植入治疗关键技术是粒子植入针在靶区内分布合理,能够很好地拟合术前计划的植入针的排布,进而在植入粒子后能满足术前计划所达到剂量分布要求。但实际操作过程中,植入针的分布很大程度上依赖于术者的个人经验,不易形成标准和规范。此外,受骨骼及其他危及器官影响,植入针分布也难以拟合术前计划设计,容易出现剂量学冷点和热点。导致肿瘤局部剂量不足或邻近正常组织剂量过高^[7,10-11]。

为了弥补 CT 引导自由穿刺中穿刺针的误差,柴树德教授借鉴前列腺癌粒子植入模板的方法,设计了平面模板结合术中计算机 TPS 技术指导放射性¹²⁵I 粒子植入治疗肺癌,并取得较好疗效^[12]。但是由于单平面模板对于解剖复杂的其他部位肿瘤,或穿刺路径上有大血管等危及器官的情况,术前计划实施起来仍有困难。

王俊杰课题组利用 3D 模板技术应用于头颈部、胸部、腹腔和盆腔肿瘤治疗,使粒子植入的精度有了进一步保证^[13-14]。3D 打印技术是近年兴起的一种全新的物体成型技术,其原理是利用金属、石蜡、塑料和尼龙等丝状材料,在打印机喷头内被加热融化、喷头沿截面轮廓和轨迹运动,将融化材料挤出,冷却后迅速固化^[15]。通过计算机数字化处理,喷墨逐层打印。每一层都是在上一层基础上进行堆积,上一层对当前层起定位和支撑作用。3D 打印技术突破了传统物体成型方法,通过快速自动成型系统与计算机数据模型结合,不需附加模具制造和机械加工,可造出各种形状原型,产品设计、生产周期大大缩短,成本大幅下降。利用 3D 打印技术,通过计算机 TPS 制定术前计划,克服了人体曲度变化、靶区深度和其他因解剖结构干扰等产生的影响,根据术前计划完全精准设计出个体化非共面导航模板。3D 打印个体化模板上含有针道位置、方向、深度、体表标记等信息。初步解决了以往针道排列不平行、聚集或者分叉的现象,手术时间大大缩短和对医生经验的依赖程度大大降低。粒子植

入前依据术前定位时的体位要求,进行体位固定及摆位。结合模板上的标线与人体体表的标线,使模板与体表皮肤相匹配^[16]。之后 CT 扫描,对比术前计划设定定位针位置,实际操作中 CT 扫描所示定位针位置,校准模板与肿瘤位置。通过该方法,最大程度拟合术前计划所设计的植入针的分布,从而提高了操作的准确性与速度,从手术的质量保证上是个巨大进步。

本研究通过人体不同部位进行 3D 模板术前定位、术中复位时误差对比分析,结果显示,头颈部、盆腔病变 3D 模板复位时, x 、 y 轴方向术前计划 3D 模板位置与复位时 3D 模板位置平均误差较小,对位准确,平均误差在 3 mm 以内,确保了头颈部、盆腔部位粒子植入时 3D 模板固定的精度。头颈部、盆腔肿瘤位置相对固定,受器官运动影响较小,重复性较好。胸部 3D 模板复位时精度误差相对较大,平均误差在 5 mm 左右,考虑到呼吸、心脏运动,胸部粒子植入时应根据器官运动范围术中再进行模板位置再次验证。另外不同体位 3D 模板复位平均误差均 < 3 mm,且不同体位之间 3D 模板复位误差对比无明显差异,提示 3D 模板在人体不同体位时摆位误差较小,分别将不同体位 3D 模板复位时 x 轴、 y 轴方向绝对误差进行统计学分析,结果显示,不同体位时 3D 模板复位时误差无明显差异,复位精度有保证。

利用 3D 打印模板定位和复位技术,结合 CT 模拟机的三维移动激光定位系统对体位固定器、体表、模板进行标线标记,及预设定位针等方法,从模板与体表、模板与肿瘤两个层面保证 3D 模板的重复性,确保肿瘤靶区与模板复位完全一致,治疗中快速完成多针道进针,缩短了粒子治疗时间,提高了粒子治疗精度。本研究结果提示利用 3D 模板结合三维移动激光定位系统对位,CT 结合定位针校位,确保 3D 模板引导的放射性粒子植入术患者定位、复位精确度高,所有误差值均在允许范围内,具有十分重要的临床应用价值,值得进一步研究和推广。

利益冲突 本人与本人家属、其他研究者,未因进行该研究而接受任何不正当的职务或财务利益,在此对研究的独立性和科学性予以保证

作者贡献声明 姜玉良、李宾负责整理临床资料,采集数据结果并起草论文;吉喆、郭福新、范京红、李旭、张路静负责协助完善数据及粒子植入计划的实施;孙海涛负责粒子植入计

划及 3D 打印模板的设计和制作;王俊杰负责审核患者粒子植入计划并指导论文写作

参 考 文 献

- [1] 张宏涛, 底学敏, 于慧敏, 等. 3D 打印模板引导¹²⁵I 粒子植入术前术后剂量对比[J]. 中华医学杂志, 2016, 96(9): 712-715. DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2016.09.010.
Zhang HT, Di XM, Yu HM, et al. Dose comparison between pre and post operation of ¹²⁵I seeds implantation guided by 3D print tamplate[J]. Natl Med J China, 2016, 96(9): 712-715. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2016.09.010.
- [2] Moser T, Fleischhacker S, Schubert K, et al. Technical performance of a commercial laser surface scanning system for patient setup correction in radiotherapy[J]. Phys Med, 2011, 27(4): 224-232. DOI: 10.1016/j.ejmp.2010.10.005.
- [3] 李小波, 徐本华, 陈远贵, 等. 三维可移动式激光定位系统在 CT 模拟过程中的应用[J]. 中国肿瘤, 2008, 17(8): 676-678. DOI:10.11735/j.issn.1004-0242.2008.08.A009.
Li XB, Xu BH, Chen YG, et al. Application of 3D mobile lasers positioning system to the CT simulation process [J]. China Cancer, 2008, 17(8): 676-678. DOI: 10.11735/j.issn.1004-0242.2008.08.A009.
- [4] 王巍. 负压真空气垫对精确放疗体位固定的影响[J]. 医疗卫生装备, 2008, 29(5): 91-92. DOI: 10.3969/j.issn.1003-8868.2008.05.041.
Wang W. Effect of negative pressure vacuum air cushion in precise radiotherapy[J]. Chin Med Equip J, 2008, 29(5): 91-92. DOI: 10.3969/j.issn.1003-8868.2008.05.041.
- [5] 范京红, 高阳, 林蕾, 等. 体位固定器在 CT 引导放射性¹²⁵I 粒子植入治疗头颈部癌中的应用[J]. 中华医学杂志, 2014, 94(35): 2772-2774. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2014.35.015.
Fan JH, Gao Y, Lin L, et al. The application of external fixator in CT guided ¹²⁵I seeds implantation to treat head and neck neoplasms[J]. Natl Med J China, 2014, 94(35): 2772-2774. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2014.35.015.
- [6] Jiang P, Liu C, Wang J, et al. Computed tomography (CT)-guided interstitial permanent implantation of (¹²⁵)I seeds for refractory chest wall metastasis or recurrence[J]. Technol Cancer Res Treat, 2015, 14(1): 11-18. DOI: 10.7785/tert.2012.500402.
- [7] Lin L, Wang J, Jiang Y, et al. Interstitial ¹²⁵I seed implantation for cervical lymph node recurrence after multimodal treatment of thoracic esophageal squamous cell carcinoma[J]. Technol Cancer Res Treat, 2015, 14(2): 201-207. DOI: 10.7785/tert.2012.500409.
- [8] Jiang YL, Meng N, Wang JJ, et al. CT-guided iodine-125 seed permanent implantation for recurrent head and neck cancers[J]. Radiat Oncol, 2010, 5: 68. DOI: 10.1186/1748-717X-5-68.
- [9] Wang JJ, Yuan HS, Li JN, et al. CT-guided radioactive seed implantation for recurrent rectal carcinoma after multiple therapy [J]. Med Oncol, 2010, 27(2): 421-429. DOI: 10.1007/s12032-009-9227-7.
- [10] Gao F, Li C, Gu Y, et al. CT-guided ¹²⁵I brachytherapy for mediastinal metastatic lymph nodes recurrence from esophageal carcinoma; effectiveness and safety in 16 patients [J]. Eur J Radiol, 2013, 82(2): e70-e75. DOI: 10.1016/j.ejrad.2012.09.003.
- [11] Zhang J, Zhang JG, Song TL, et al. ¹²⁵I seed implant brachytherapy-assisted surgery with preservation of the facial nerve for treatment of malignant parotid gland tumors [J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2008, 37(6): 515-520. DOI: 10.1016/j.ijom.2008.04.013.
- [12] 霍彬, 侯朝华, 叶剑飞, 等. CT 引导术中实时计划对胸部肿瘤¹²⁵I 粒子植入治疗的价值[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2013, 22(5): 400-403. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2013.05.019.
Huo B, Hou CH, Ye JF, et al. The study of intraoperative real-time planning by CT-guided in ¹²⁵I seed implantation for thoracic malignancie[J]. Chin J Radiat Oncol, 2013, 22(5): 400-403. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2013.05.019.
- [13] 吉喆, 姜玉良, 郭福新, 等. 3D 打印个体化非共面模板辅助放射性粒子植入治疗恶性肿瘤的剂量学验证[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, 36(9): 662-666. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.09.005.
Ji Z, Jiang YL, Guo FX, et al. Dosimetry verification of radioactive seed implantation for malignant tumor assisted by 3D printing individual guide template[J]. Chin J Radiol Med Prot, 36(9): 662-666. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.09.005.
- [14] 姜玉良, 王皓, 吉喆, 等. CT 引导辅助 3D 打印个体化非共面模板指导¹²⁵I 粒子治疗盆腔复发肿瘤剂量学研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(9): 959-964. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2016.09.012.
Jiang YL, Wang H, Ji Z, et al. Computed tomography image-guided and personalized 3D printed template-assisted ¹²⁵I seed implantation for recurrent pelvic tumor; a dosimetric study [J]. Chin J Radiat Oncol, 2016, 25(9): 959-964. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2016.09.012.
- [15] 赵一姣, 王勇, 黄明伟, 等. 近距离放射治疗用个性化导板的数字化设计方法[J]. 中华口腔医学杂志, 2014, 49(2): 115-118. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2014.02.011.
Zhao YJ, Wang Y, Huang MW, et al. Digital design methods of individual template for brachytherapy[J]. Chin J Stomatol, 2014, 49(2): 115-118. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2014.02.011.
- [16] Rathod S, Munshi A, Agarwal J. Skin markings methods and guidelines; a reality in image guidance radiotherapy era[J]. South Asian J Cancer, 2012, 1(1): 27-29. DOI: 10.4103/2278-330X.96502.

(收稿日期:2016-06-14)