

Halcyon直线加速器在鼻咽癌放疗中靶区外放边界及摆位误差分析

苏洁洪¹, 魏夏平¹, 周子涵¹, 董彦鑫¹, 朱毅¹, 姚宇蔚¹, 刘叶明¹, 黄明超¹, 董晶¹, 黄小伟²

1. 广州中医药大学金沙洲医院肿瘤放射治疗中心, 广东 广州 510080; 2. 东莞理工学院科学技术处, 广东 东莞 523808

【摘要】目的:利用 Halcyon 直线加速器的锥形束 CT(CBCT)对鼻咽癌放疗治疗过程中的摆位误差及靶区外放边界进行分析, 为 Halcyon 的鼻咽癌调强放射治疗计划提供临床靶区(CTV)外扩计划靶区(PTV)边界大小参考, 提高放射治疗精度和疗效。**方法:**选取广州中医药大学金沙洲医院 2020 年 5 月至 2022 年 6 月 117 例使用 Halcyon 直线加速器进行容积调强弧形放疗的鼻咽癌患者, 采集患者的 3861 次 CBCT 图像, 然后与 CT 定位图像进行图像配准, 获得床左右方向(Lat)、进出方向(Lng)、升降方向(Vrt)的修正值, 进行摆位误差分析。利用靶区外扩公式 $=2.5\sum+0.7\delta$ 计算得到 PTV 的外扩值。**结果:**Halcyon 治疗鼻咽癌的摆位误差分别为: Lat 0.10(0.00, 0.10) cm、Lng 0.10(0.00, 0.20) cm、Vrt 0.20(0.10, 0.30) cm, Lat、Lng 和 Vrt 的 CTV 外扩 PTV 的值分别为 0.12、0.12、0.09 cm。**结论:**鼻咽癌患者在 Halcyon 直线加速器做图像引导治疗时, 摆位误差低。**【关键词】**鼻咽癌; Halcyon; 锥形束 CT; 摆位误差; 靶区外放边界
【中图分类号】R318; R815.6 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1005-202X(2023)12-1459-04

Target volume margins and positioning errors in radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma using Halcyon linear accelerator

SU Jiehong¹, WEI Xiaping¹, ZHOU Zihan¹, DONG Yanxin¹, ZHU Yi¹, YAO Yuwei¹, LIU Yeming¹, HUANG Mingchao¹, DONG Jing¹, HUANG Xiaowei²

1. Department of Radiation Oncology, Jinshazhou Hospital of Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510080, China;
2. Department of Science and Technology, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China

Abstract: Objective To analyze the target volume margins and positioning errors in the radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma (NPC) using the cone-beam computed tomography (CBCT) of Halcyon linear accelerator for providing a reference for the margin from clinical target volume to planning target volume (CTV-to-PTV margin) in the radiotherapy for NPC using Halcyon linear accelerator, hence improving treatment precision and effectiveness. **Methods** A total of 117 NPC patients who received volumetric modulated arc therapy using Halcyon linear accelerator from May 2020 to June 2022 in Jinshazhou Hospital of Guangzhou University of Chinese Medicine were enrolled. The 3 861 CBCT images collected from the patients were matched with the CT images to obtain the correction values of the treatment couch in lateral (Lat), longitudinal (Lng) and vertical (Vrt) directions for positioning error analysis. The CTV-to-PTV margin was obtained by the equation (margin $=2.5\sum+0.7\delta$). **Results** The positioning errors in the radiotherapy for NPC using Halcyon linear accelerator were 0.10 (0.00, 0.10) cm, 0.10 (0.00, 0.20) cm and 0.20 (0.10, 0.30) cm in Lat, Lng and Vrt directions, respectively. The CTV-to-PTV margins in Lat, Lng and Vrt directions were 0.12, 0.12 and 0.09 cm, respectively. **Conclusion** Low positioning errors can be achieved for NPC patients undergoing image-guided treatment using Halcyon linear accelerator.
Keywords: nasopharyngeal carcinoma; Halcyon; cone-beam computed tomography; positioning error; target volume margin

前言

鼻咽癌是中国南方发病率较高的恶性肿瘤疾

病,放射治疗是鼻咽癌的首选治疗方式^[1-3]。调强放疗(IMRT)、容积旋转调强(VMAT)技术的出现,有效地提高肿瘤的控制率和最大限度减少重要组织的损伤^[4-7]。但是患者在接受分次治疗的过程中,不可避免地会出现摆位误差,导致临床靶区(CTV)欠剂量,因此需要在CTV的基础上外扩一定距离形成计划靶区(PTV)^[8-10]。随着影像引导放疗(IGRT)的出现,在线修正患者的摆位误差,提高放疗的精确性^[11-13]。随着 IGRT 的广泛使用,使得传统的 CTV 外扩 PTV 的边

【收稿日期】2023-06-19

【基金项目】国家自然科学基金青年基金(12004410)

【作者简介】苏洁洪,工程师,研究方向:肿瘤放射物理, E-mail: 573921373@qq.com

【通信作者】魏夏平,硕士,研究方向:肿瘤放射物理, E-mail: wei-xia-ping@163.com

界变小,既能降低正常组织的剂量,减少放疗的副作用,又能使CTV接受足够的剂量,保证放疗的疗效。

Halcyon加速器为瓦里安新一代智慧放疗平台,其设计与常规加速器存在较大差异,采用环形机架设计,将锥形束CT(CBCT)图像引导系统封装起来,因此能够快速完成CBCT图像采集,而且每次治疗前强制进行图像引导^[14-16]。而基于Halcyon治疗鼻咽癌的摆位误差及CTV外扩边界大小鲜见报道,因此本研究探究Halcyon加速器的鼻咽癌IGRT摆位误差及CTV外扩边界大小,为鼻咽癌Halcyon放疗的CTV外扩为PTV提供边界大小参考。

1 资料与方法

1.1 病例资料与设备

选取广州中医药大学金沙洲医院2020年5月1日至2022年6月30日117例采用Halcyon加速器治疗的鼻咽癌患者资料,原发肿瘤处方剂量为69.96 Gy/33次,一周治疗5次,总疗程约7周。其中,男70例,女47例;最大年龄88岁,最小年龄16岁,中位数年龄52岁,平均年龄(52±13)岁。本研究所用的机器是瓦里安的Halcyon 2.0直线加速器,治疗计划系统(TPS)为瓦里安的Eclipse V15.6,模拟定位CT为西门子的SOMATOM Confidence。

1.2 方法

1.2.1 CT模拟定位 所有患者的体位固定均采用双手放两侧,仰卧在发泡胶上,待发泡胶固定成型后,再使用热塑膜固定头颈部。热塑膜完全冷却后,在患者的鼻咽部标记3个CT标记点,然后进行CT扫描,扫描条件为120 kV,390 mA,层厚2 mm。扫描完成后发送到Manteia公司的危及器官自动勾画系统AccuContour3.2,然后再导入为瓦里安的Eclipse V15.6 TPS。

1.2.2 计划设计 所有患者的放疗计划都是采用VMAT技术,6X-FFF能量,800 MU/min剂量率,使用3条全弧,准直器角度使用TPS默认的285°、345°、45°。

1.2.3 摆位误差数据获取 Halcyon加速器每次治疗患者前都必须进行图像引导,否则机器不允许出束治疗,因此117例鼻咽癌患者都在每次治疗前获取了CBCT图像来进行图像配准校正摆位误差,配准以靶区为主,骨性标记为辅,若发现体位差异大,则重新摆位。共得到3 861次CBCT图像,然后从TPS的治疗日志里分别读出每例患者的摆位误差数据。

1.3 统计学方法

使用SPSS23.0统计分析软件对数据进行分析,不符合正态分布的计量资料用 $M(Q1, Q3)$ 表示。应用Van Herk等^[17]提供的靶区外放公式 $=2.5\Sigma+0.7\delta$,计算左右方向(Lat)、进出方向(Lng)、升降方向(Vrt)3个方向上的靶区外放值,其中群体化系统误差 Σ 表示为患者个体化系统误差的标准偏差,群体化随机误差 δ 表示为患者个体化随机误差的标准偏差。Van Herk运用群体化累积剂量分布概率法(剂量-人群直方图),该公式满足90%患者的CTV累积剂量至少接受95%的处方剂量。

2 结果

获取117例鼻咽癌患者总疗程中所有CBCT图像,共计3 861组数据,分析计算其摆位误差结果,如表1所示。Lat、Lng和Vrt的摆位误差分别为0.10(0.00, 0.10) cm、0.10(0.00, 0.20) cm、0.20(0.10, 0.30) cm。Lat、Lng和Vrt的CTV外扩PTV的值分别为0.12、0.12、0.09 cm。3个方向的摆位误差频率图如图1~图3所示。

表1 摆位误差数据(cm)
Table 1 Positioning errors (cm)

参数	Vrt	Lng	Lat
$M(Q1, Q3)$	0.20(0.10, 0.30)	0.10(0.00, 0.20)	0.10(0.00, 0.10)
群体化系统误差 Σ	0.03	0.04	0.04
群体化随机误差 δ	0.02	0.03	0.03
CTV外扩为PTV的值	0.09	0.12	0.12

3 讨论

Halcyon直线加速器是一款强制每次治疗前必须做图像引导的放疗设备,三维床在线修正患者摆位误差,极大地提高放疗的精确性,但是头颈部肿瘤

放射治疗时,各种因素导致的摆位误差仍然是无法避免的。摆位误差的来源有:模具的固定效果及重复性;加速器的机械等中心误差;CT模拟定位机转换到直线加速器治疗时的重复性;技师的摆位技术

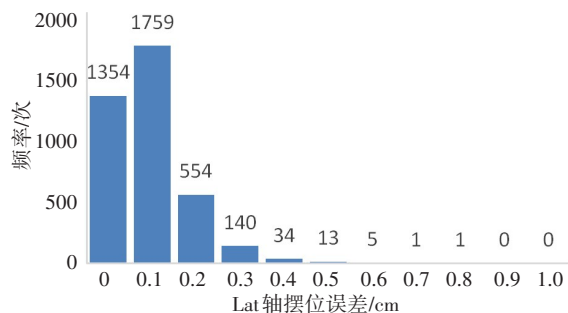


图1 Lat轴的摆位误差频率图

Figure 1 Frequency histogram of positioning errors in Lat direction

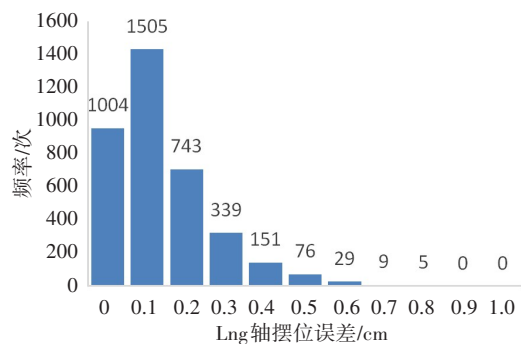


图2 Lng轴的摆位误差频率图

Figure 2 Frequency histogram of positioning errors in Lng direction

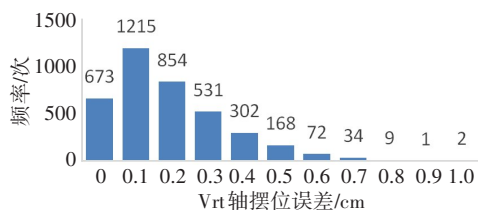


图3 Vrt轴的摆位误差频率图

Figure 3 Frequency histogram of positioning errors in Vrt direction

等^[18-22]。为了肿瘤的局控率,放疗医生会对CTV进行外扩生成PTV,确保即使存在摆位误差,肿瘤也能接受足够的剂量。在IGRT没有常规开展时,放疗医生一般是按照本科室的摆位经验,将CTV外扩一定的距离生成PTV。Halcyon加速器是必须进行IGRT的放疗设备,那么CTV外扩成PTV的大小则主要取决于Halcyon治疗鼻咽癌过程中的摆位误差。

从结果来看,利用Halcyon进行鼻咽癌IGRT放疗的摆位误差为Lat 0.10(0.00, 0.10) cm、Lng 0.10(0.00, 0.20) cm、Vrt 0.20(0.10, 0.30) cm,结果与国内外关于鼻咽癌摆位误差的研究结果类似。张全彬等^[23]分析30例鼻咽癌患者IGRT放疗的摆位误差,结果Lat、Lng、Vrt轴方向的摆位误差均<3 mm。岳丹等^[24]在331例鼻咽癌放疗患者上分析3972组CBCT图像,结果显示IGRT技术显著提高鼻咽癌放疗的精

确性,PTV甚至可以缩小到2 mm以内。陈意标等^[25]分析87例鼻咽癌患者的CBCT图像,结果表明鼻咽癌使用IGRT,PTV为3 mm是安全的。这也说明了利用Halcyon进行鼻咽癌放疗的摆位误差在可接受范围内。对本研究的数据分析发现,Halcyon的摆位误差中位数分别为Lat(0.10 cm)、Lng(0.10 cm)、Vrt(0.20 cm),误差主要集中在2 mm以内,摆位精度较高。一方面说明使用发泡胶配合热塑膜固定患者的体位效果很好,另一方面也是因为Halcyon机器的“智能”,一键自动移床到模具的CT标记点位置,在技师固定好患者体位后,再一键自动送床到Halcyon的等中心,不需要手动移床,减少人为误差。对于某些患者在Lng方向的摆位误差超出 ± 0.6 cm,经分析发现为以下两个方面原因:(1)患者变瘦了,使得体型与模具不匹配;(2)颈部淋巴结肿瘤体积缩小了,导致图像配准时与定位时的图像颈部区域差异大。对于某些患者Vrt方向摆位误差超出 ± 0.6 cm,经分析发现为以下原因:经过半个疗程治疗后,有些患者的皮肤反应较重,仰卧时候因为皮肤、喉结等部位与热塑膜的摩擦带来疼痛,导致患者的头部不能正确地微微上抬,使得图像配准时需要上下移动治疗床。为了提高鼻咽癌的放疗效果,不仅需要精确的定位和设计,还要精确的治疗。Halcyon每次治疗必须要进行图像引导,清晰的CBCT图像配合三维床修正患者的摆位误差,使得鼻咽癌的治疗更精确。

综上所述,使用Halcyon治疗鼻咽癌,CBCT图像引导修正患者的摆位误差,使得治疗精度更高,并且有助于缩小PTV的外扩范围。

【参考文献】

- [1] 康敏. 中国鼻咽癌放射治疗指南(2022版)[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2022, 29(9): 611-622.
Kang M. The guideline for radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma in China (2022) [J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2022, 29(9): 611-622.
- [2] 赵充, 卢泰祥, 韩非, 等. 139例鼻咽癌调强放疗的临床研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2006, 15(1): 1-6.
Zhao C, Lu TX, Han F, et al. Clinical study of 139 nasopharyngeal carcinoma patients for intensity modulated radiation therapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2006, 15(1): 1-6.
- [3] Blanchard P, Biau J, Huguet F, et al. Radiotherapy for nasopharyngeal cancer[J]. Cancer Radiother, 2022, 26(1-2): 168-173.
- [4] 殷欢, 薛芬, 何霞云, 等. 早期鼻咽癌调强适形放射治疗的长期疗效及不良反应[J]. 复旦学报(医学版), 2022, 49(4): 542-547.
Yin H, Xue F, He XY, et al. Long-term outcomes and adverse reactions of intensity-modulated radiation therapy in patients with early stage nasopharyngeal carcinoma [J]. Fudan University Journal of Medical Sciences, 2022, 49(4): 542-547.
- [5] 梁锋攀. 鼻咽癌放射治疗的相关研究进展[J]. 癌症进展, 2021, 19(10): 988-990.
Liang FP. Advances in radiation therapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. Oncology Progress, 2021, 19(10): 988-990.
- [6] 黄志伟, 农雅晴. Rapid Arc放射治疗技术对鼻咽癌周围正常组织器官保护的作用[J]. 中国医学工程, 2020, 28(7): 14-17.

- Huang ZW, Nong YQ. Effect and safety of Rapid Arc radiotherapy on the protection of surrounding normal tissues and organs[J]. China Medical Engineering, 2020, 28(7): 14-17.
- [7] 杨金磊, 王冰, 杨祝春, 等. 四弧共面VMAT技术应用于鼻咽癌放疗剂量学研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2018, 25(14): 1023-1027.
- Yang JL, Wang B, Yang ZC, et al. Dosimetric study of treatment of nasopharyngeal carcinoma by using VMAT with 4 coplanar arcs[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2018, 25(14): 1023-1027.
- [8] 李志聪, 李陆军, 向昭雄, 等. 鼻咽癌调强放疗靶区安全外扩边界研究[J]. 现代肿瘤医学, 2017, 25(21): 3513-3515.
- Li ZC, Li LJ, Xiang ZX, et al. Research on the safety target margin in intensity modulated radiation therapy of nasopharyngeal carcinoma [J]. Journal of Modern Oncology, 2017, 25(21): 3513-3515.
- [9] Hodapp N. The ICRU report 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT) [J]. Strahlenther Onkol, 2012, 188(1): 97-99.
- [10] Pramanik S, Ray KD, Bera S, et al. Analysis of setup uncertainties and determine the variation of the clinical target volume (CTV) to planning target volume (PTV) margin for various tumor sites treated with three-dimensional IGRT couch using KV-CBCT[J]. J Radiat Oncol, 2020, 9(7): 25-35.
- [11] 张丙新, 石祥礼, 梁广立, 等. 瓦里安机载图像引导系统在鼻咽癌图像引导放疗中联合应用的探索[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2022, 31(4): 365-369.
- Zhang BX, Shi XL, Liang GL, et al. Exploration of combined application of three Varian OBI image-guided systems in image-guided radiotherapy for nasopharyngeal cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2022, 31(4): 365-369.
- [12] 张国前, 张书旭, 曾庆星, 等. 不同配准方式下鼻咽癌千伏级CBCT图像引导放疗的摆位误差[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(3): 282-288.
- Zhang GQ, Zhang SX, Zeng QX, et al. Setup errors of kilo-voltage CBCT image-guided radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma under different registration conditions[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2020, 37(3): 282-288.
- [13] 林晓生, 方涌文, 姚文燕, 等. 基于图像引导下探索鼻咽癌不同区域六维方向摆位误差的相关性[J]. 广东医学, 2022, 43(8): 970-976.
- Lin XS, Fang YW, Yao WY, et al. The correlation among six-dimensional orientation errors in different regions of nasopharyngeal carcinoma based on image guidance[J]. Guangdong Medical Journal, 2022, 43(8): 970-976.
- [14] Li K, Li C, Zhu T, et al. Dosimetry study of nasopharyngeal carcinoma based on Halcyon accelerator fixed-field intensity-modulated radiation therapy[J]. J Cancer Res Ther, 2021, 17(5): 1165-1171.
- [15] Jarema T, Aland T. Using the iterative kV CBCT reconstruction on the Varian Halcyon linear accelerator for radiation therapy planning for pelvis patients[J]. Phys Med, 2019, 68(C): 112-116.
- [16] 屈成斌, 林晓燕, 王宇飞, 等. 基于Halcyon加速器头颈部肿瘤放疗中塑形垫应用的研究[J]. 重庆医学, 2021, 50(17): 2881-2884.
- Qu CB, Lin XY, Wang YF, et al. Study on the application of customized Klarify AccuCushion in radiotherapy for head and neck cancer using Varian Halcyon accelerator[J]. Chongqing Medicine, 2021, 50(17): 2881-2884.
- [17] Van Herk M, Remeijer P, Rasch C, et al. The probability of correct target dosage: dose-population histograms for deriving treatment margins in radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2000, 47(4): 1121-1135.
- [18] 傅万凯, 刘利彬, 陈彩霞, 等. 发泡胶枕在鼻咽癌调强放疗中的应用[J]. 现代肿瘤医学, 2020, 28(19): 3413-3416.
- Fu WK, Liu LB, Chen CX, et al. Application study of styrofoam pillow in intensity modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. Journal of Modern Oncology, 2020, 28(19): 3413-3416.
- [19] 钟庆初, 黄家升, 林楚燕, 等. 两种不同体表标记方式对鼻咽癌患者颈椎摆位误差的影响[J]. 广东医学, 2021, 42(9): 1092-1096.
- Zhong QC, Huang JS, Lin CY, et al. Effect of two different body surface marking methods on cervical spine positioning error in patients with nasopharyngeal carcinoma [J]. Guangdong Medical Journal, 2021, 42(9): 1092-1096.
- [20] 张校铭, 秦勤, 李军烽, 等. 4种不同固定技术在头颈部肿瘤放疗中的摆位误差比较[J]. 医疗卫生装备, 2021, 42(8): 49-52.
- Zhang XM, Qin Q, Li JF, et al. Comparison of setup errors using four different immobilization techniques for radiotherapy of patients with head and neck tumors[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2021, 42(8): 49-52.
- [21] 游雁, 李康. 鼻咽癌调强放射治疗提高摆位误差精度的进展[J]. 临床医学研究与实践, 2020, 5(30): 193-195.
- You Y, Li G. Advances of intensity modulated radiation therapy for nasopharyngeal carcinoma to improve the accuracy of positioning error [J]. Clinical Research and Practice, 2020, 5(30): 193-195.
- [22] 金淑平, 李明, 储开岳. 基于XVI系统探讨鼻咽癌患者摆位误差产生原因及应对策略[J]. 生物医学工程与临床, 2018, 22(5): 543-545.
- Jin SP, Li M, Chu KY. The cause and control methods of setup error in nasopharyngeal carcinoma patient based on XVI system [J]. Biomedical Engineering and Clinical Medicine, 2018, 22(5): 543-545.
- [23] 张全彬, 彭莹莹, 张书旭, 等. 应用CTVision和千伏级CBCT研究鼻咽癌放疗摆位误差的比较分析[J]. 中国医疗设备, 2017, 32(6): 74-78.
- Zhang QB, Peng YY, Zhang SX, et al. Comparative analysis of application of CTVision and kilo-voltage CBCT in the nasopharyngeal carcinoma radiotherapy beam position error [J]. China Medical Devices, 2017, 32(6): 74-78.
- [24] 岳丹, 杨永净, 赵玲, 等. kV-CBCT图像引导鼻咽癌调强放疗的精确性研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, 36(3): 211-215.
- Yue D, Yang YJ, Zhao L, et al. Clinical feasibility and accuracy of image guidance with kilovoltage cone-beam computed tomography in nasopharyngeal carcinoma intensity-modulated radiotherapy [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2016, 36(3): 211-215.
- [25] 陈意标, 张汉雄, 蒋振东, 等. 鼻咽癌锥形束CT引导方案与摆位误差的相关性[J]. 肿瘤研究与临床, 2018, 30(8): 521-525.
- Chen YB, Zhang HX, Jiang ZD, et al. Correlation between cone beam computed tomography-guided scheme and setup errors in nasopharyngeal carcinoma [J]. Cancer Research and Clinic, 2018, 30(8): 521-525.

(编辑:陈丽霞)