

# CBCT X射线图像引导技术在直肠癌IMRT放疗中的应用

刘平<sup>1,2</sup>, 李玉锋<sup>2</sup>, 陈成成<sup>3</sup>, 赵涛<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>青岛大学医学部基础医学院, 山东 青岛

<sup>2</sup>日照市人民医院放疗科, 山东 日照

<sup>3</sup>日照市人民医院放射科, 山东 日照

<sup>4</sup>日照市人民医院中心实验室, 山东 日照

收稿日期: 2023年9月11日; 录用日期: 2023年10月5日; 发布日期: 2023年10月12日

## 摘要

目的: 探讨锥体束计算机断层扫描(CBCT) X射线图像引导技术在直肠癌调强放疗(IMRT)中的作用。方法: 回顾性分析2022年1月至2023年6月于日照市人民医院放疗科行IMRT放疗的15例直肠癌患者的临床资料。病人治疗摆位完成后采用CBCT X射线图像引导获得扫描图像, 与数字重建放射影像(DRR)进行匹配, 得到3个方向的平移摆位误差和3个方向的旋转摆位误差, 并进行统计分析, 最后得出锥体束计算机断层扫描(CBCT) X射线图像引导技术在直肠癌调强放疗(IMRT)中的作用。结果: 15例患者的位置验证均采用CBCT扫描, 共获取375组X射线图像, 分别与治疗计划DRR进行图像配准然后得出每次治疗的摆位误差。平移方向上Y(头、脚)方向的平移摆位误差最大, 摆位误差为 $(2.245 \pm 0.709)$  cm; X(左、右)方向次之, 摆位误差为 $(0.623 \pm 0.203)$  cm; Z(胸、背)方向最小, 摆位误差为 $(0.492 \pm 0.163)$  cm。旋转方向上RTN(左、右)方向的旋转摆位误差最大, 摆位误差为 $(4.333 \pm 1.121)^\circ$ ; ROLL(胸、背)方向次之, 摆位误差为 $(3.94 \pm 0.809)^\circ$ ; PITCH(头、脚)方向最小, 摆位误差为 $(2.94 \pm 1.195)^\circ$ 。结论: 患者治疗前先做CBCT X射线图像引导可观察到摆位误差之大, 待修正之后再行放疗可以进一步减小摆位误差, 提高放疗的精确度。

## 关键词

调强放疗, 锥体束计算机断层扫描, X射线图像引导, 直肠癌

# Application of CBCT X-Ray Image-Guided Technique in IMRT Radiotherapy for Rectal Cancer

Ping Liu<sup>1,2</sup>, Yufeng Li<sup>2</sup>, Chengcheng Chen<sup>3</sup>, Tao Zhao<sup>4\*</sup>

\*通讯作者。

<sup>1</sup>School of Basic Medicine, Medical Department of Qingdao University, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Department of Radiotherapy, People's Hospital of Rizhao, Rizhao Shandong

<sup>3</sup>Department of Radiology, People's Hospital of Rizhao, Rizhao Shandong

<sup>4</sup>Central Laboratory, People's Hospital of Rizhao, Rizhao Shandong

Received: Sep. 11<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 5<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 12<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

**Objective:** To investigate the role of cone beam computed tomography (CBCT) X-ray image-guided technique in intensity-modulated radiotherapy (IMRT) for rectal cancer. **Methods:** The clinical data of 15 patients with rectal cancer who underwent IMRT radiotherapy in the radiotherapy department of Rizhao People's Hospital from January 2022 to June 2023 were retrospectively analyzed. After the patient's treatment positioning was completed, the CBCT X-ray image guidance was used to obtain the scanning image, which was matched with the digital reconstruction radiography (DRR) to obtain the translation positioning error in three directions and the rotation positioning error in three directions, and statistical analysis was performed. Finally, the role of cone beam computed tomography (CBCT) X-ray image guidance technology in intensity-modulated radiotherapy (IMRT) for rectal cancer was obtained. **Results:** CBCT scan was used to verify the position of 15 patients. A total of 375 sets of X-ray images were obtained, which were registered with the treatment plan DRR respectively, and then the setup error of each treatment was obtained. In the translation direction, the translation positioning error in the Y (head and foot) direction was the largest, and the positioning error was  $(2.245 \pm 0.709)$  cm. The X (left and right) direction was the second, and the setup error was  $(0.623 \pm 0.203)$  cm. The Z (chest and back) direction was the smallest, and the positioning error was  $(0.492 \pm 0.163)$  cm. In the rotation direction, the rotation positioning error in the RTN (left and right) direction was the largest, and the positioning error is  $(4.333 \pm 1.121)$  degrees. The ROLL (chest and back) direction was the second, and the setup error was  $(3.94 \pm 0.809)$  degrees. The direction of PITCH (head and foot) was the smallest, and the positioning error was  $(2.94 \pm 1.195)$  degrees. **Conclusions:** CBCT X-ray image guidance before treatment can observe the large setup error. Radiotherapy after correction can further reduce the setup error and improve the accuracy of radiotherapy.

## Keywords

Intensity Modulated Radiotherapy, Cone Beam Computed Tomography, X-Ray Image Guidance, Rectal Cancer

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

目前大约有 2/3 以上的恶性肿瘤在抗肿瘤综合治疗中应用放疗[1], 由此可见放疗精确度显得尤为重要。近年来, 我国直肠癌发病率和死亡率均保持上升趋势。2020 中国癌症统计报告显示, 我国直肠癌发病率和死亡率在全部恶性肿瘤中分别位居第 2 和第 5 位, 其中新发病例 55.5 万例, 死亡病例 28.6 万例。中国已成为全球直肠癌每年新发病例数和死亡病例数最多的国家, 直肠癌严重影响和威胁我国居民身体

健康[2]。研究表明, 结肠外科、肿瘤科、放疗科、影像科、病理科等多学科综合治疗(Multi-disciplinary treatment, MDT)的模式可改善直肠癌诊疗水平[3]。而放疗作为直肠癌综合治疗中的重要一环, 作用日益显现[4]。直肠癌肿瘤生长部位集中了股骨头、膀胱等人体重要组织器官, 射线需要经过一系列密度不均匀的组织到达肿瘤, 普通放疗和三维适形(3D-CRT)放疗技术很难做到较好的剂量分布, 且治疗精度很难保证。在放疗的临床实践中, 控制摆位误差, 提高局控率, 才能保证治疗的效果[5]。IMRT 可以很好地控制肿瘤靶区和保护正常组织, 并且缩短治疗时间, 提高治疗效率, 再配合锥体束计算机断层扫描(Cone beam computed tomography, CBCT) X 射线图像引导技术极大地减少摆位误差, 提高放疗精度, 同时改善靶区内剂量分布, 减少周围正常组织和危及器官的照射剂量, 降低副反应, 进一步提高疗效。本研究选择 2022 年 1 月至 2023 年 6 月于日照市人民医院放疗科行 IMRT 治疗的 15 例直肠癌患者为研究对象, 记录放疗过程并对其资料进行回顾性分析, 探讨使用 CBCT X 射线图像引导技术在直肠癌的 IMRT 放疗中的作用。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究对象

回顾性分析 2022 年 1 月至 2023 年 6 月于日照市人民医院放疗科行 IMRT 治疗的 15 例直肠癌患者的临床资料, 其中男性 11 例, 女性 4 例; 年龄在 30~79 周岁, 平均年龄为 58 岁。

### 2.2. 纳入和排除标准

纳入标准: 所有入组病历皆是手术后病理确诊; 卡氏功能状态(Karnofsky performance status, KPS)评分  $\geq 80$  分; 实验室检查显示血常规、肝肾功能、心肺功能正常; 入组前未行放疗。

排除标准: 完全性肠梗阻; 恶病质等不能耐受放射治疗; 既往已做盆腔高剂量照射; 有其他放疗禁忌证。

### 2.3. 研究方法

定位方法: 患者仰卧于体架板上, 选用 E 型头枕, 双臂自然放于身体两侧, 采用体膜热塑膜固定[6][7][8]。正常呼吸状态下, 使用飞利浦大孔径 16 排电子计算机断层扫描模拟定位机(Brilliance CT Big Bore)增强扫描患者盆腔。扫描条件: 增强药品为碘海醇(非离子型对比剂), 注药后 25 s 开始扫描动脉期, 80~90 s 扫描静脉期, 一次注射 75~80 mL 对比剂, 流速为 2.5~3 mL/s, 曝光条件为管电压 120 kVp、管电流 400 mAs、扫描层厚 5 mm, 扫描范围为第一腰椎到股骨中段, 可疑区域可重点扫描, 肿瘤位置做好标记[9], 扫描完成后将 CT 图像传至 Eclipse 治疗计划系统(Treatment planning system, TPS) [10]。

靶区、危及器官的确定: 患者的肿瘤靶区(Gross tumor volume, GTV)、临床靶区(Clinical target volume, CTV)首先由本院肿瘤科一位主治大夫勾画后再经主任医师审核后方可通过, 外放原则是将 CTV 和 GTV 在前后(AP)、左右(LR)四个方向均匀外放 7 mm, 头脚方向均匀外放 10 mm, 获得计划临床靶区(Plan clinical target volume, PCTV), 并视周围相邻组织实际情况适当调整。危及器官(Organs at risk, OARs)包括股骨头、膀胱等, 且危及器官的勾画均依据国际辐射单位与测量委员会(International commission on radiation units and measurements, ICRU) 83 号文件规定完成。

放疗设备与计划设计: 加速器为瓦里安 Vital Beam 医用直线加速器, 放疗计划系统采用瓦里安公司 Eclipse 15 版本, 剂量计算为 AAA 算法。IMRT 计划采用固定野出束照射方式, 剂量率为 600 MU/min。入组病例均治疗 25 分次, PCTV 的处方剂量为 50 Gy/25F 的方式放疗, 1 次/d, 5 d/周。PCTV 需要达到 95% 以上体积满足处方剂量进行剂量归一。参照 ICRU 83 号文件规定, 通过剂量体积直方图(Dose-volume histogram, DVH)和剂量分布来评估计划。股骨头受照 50 Gy 的体积占全体积百分比  $< 5\%$ , 膀胱受照 50 Gy

的体积占全体积百分比 < 50%。治疗计划设计完成且经医生审核后由物理师通过工作站将治疗计划和治疗部位的数字重建放射影像(Digitally reconstructed radiograph, DRR)分别传给治疗加速器(Vital Beam)和 CBCT X 射线图像引导系统。

## 2.4. 研究指标

治疗位置验证利用 CBCT 系统完成, 首次治疗由医师、物理师、技师共同参与, 患者体位和固定装置与模拟定位时相同, 摆位完成后采用 CBCT X 射线图像引导系统获得扫描图像, 与 DRR 进行匹配, 得出 3 个平移方向和 3 个旋转方向的摆位误差。图像采集参数: 机架顺时针或逆时针旋转 360°扫描(角度: -180°~180°或 180°~-180°)或任意 200°的自选角度方式扫描, 选用系统自带的匹配模板。

图像配准方式采用基于灰度的自动配准, 可以避免因个人水平差异引起的误差。图像配准范围包括 GTV、周边骨性结构及重要的危及器官。摆位误差方向定义为平移方向 X (左、右)、Y (头、脚)、Z (胸、背); 旋转方向为 RTN (左、右)、PITCH (头、脚)、ROLL (胸、背)。

## 2.5. 统计学处理

采用 SPSS 24.0 统计软件进行数据分析, 计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示。

## 3. 结果

### 两组患者一般情况比较

15 例患者的位置验证均采用 CBCT 扫描, 共获取 375 组 X 射线图像, 分别与治疗计划 DRR 图像配准得出每次治疗的摆位误差。Y (头、脚)方向的平移摆位误差最大, 摆位误差为(2.245 ± 0.709) cm; X (左、右)方向次之, 摆位误差为(0.623 ± 0.203) cm; Z (胸、背)方向最小, 摆位误差为(0.492 ± 0.163) cm, 见表 1。

**Table 1.** The positioning error of X, Y, Z direction (cm)

**表 1.** X、Y、Z 方向的摆位误差(cm)

方向	系统误差	随机误差	误差极值	
			最大值	最小值
X (左、右)	0.623	0.203	1.02	0.28
Y (头、脚)	2.245	0.709	3.6	1.17
Z (胸、背)	0.492	0.163	1.02	0.35

RTN (左、右)方向的旋转摆位误差最大, 摆位误差为(4.333 ± 1.121)°; ROLL (胸、背)方向次之, 摆位误差为(3.94 ± 0.809)°; PITCH (头、脚)方向最小, 摆位误差为(2.94 ± 1.195)°。见表 2。

**Table 2.** The positioning error of PITCH, ROLL, RTN direction (°)

**表 2.** PITCH、ROLL、RTN 方向的摆位误差(°)

方向	系统误差	随机误差	误差极值	
			最大值	最小值
Pitch (头、脚)	2.94	1.195	5.3	0.8
Roll (胸、背)	3.94	0.809	5.6	2.7
Rtn (左、右)	4.333	1.121	7.1	3.1

## 4. 讨论

放射治疗对直肠癌术后,可以起到延缓复发或减少复发的作用。对于未行手术的直肠癌,可以通过放射治疗使肿瘤缩小得到控制,使患者生存时间延长。只有一期的直肠癌手术后不需要特殊治疗,对于二期三期直肠癌都需要进行放射治疗。还可以联合化疗增加疗效。大约有近 70%肿瘤患者在治疗过程中需进行放射性治疗,约 40%肿瘤患者经过放射性治疗即可痊愈。因此放疗在肿瘤治疗中的地位已经接近肿瘤外科手术,较为重要。且放疗同外科手术比较,具有风险小、副作用小、后遗症出现几率较少等优势,而且放疗对手术困难患者也有很好的效果。

随着医学影像学、放射物理学的发展和计算机技术的进步,IMRT 作为一种早在 20 世纪 70 年代就被提出的技术应用至今已经非常成熟,尤其在直肠癌临床放疗剂量学、摆位误差方面优势明显。与常规放疗技术相比在靶区适形度和剂量上均有明显优势,可以提高靶区的生物学效应,因而散射线和低剂量分布的体积也更少,可以更好地保护正常组织及危及器官。IMRT 在靶区平均剂量(PTVD mean)、靶区最小剂量(PTVD min)、靶区最大剂量(PTVD max)、靶区适形指数(CI)及靶区均匀指数(HI)均高于 3D-CRT [11]。

肿瘤放疗关注的焦点是精准放疗,摆位过程中患者体位的重复性与一致性是影响放疗精确度及疗效的关键因素之一[12]。摆位误差会导致患者位置偏移,可能使靶区周围的危及器官获得高剂量放疗,同时造成靶区边缘的漏照,从而增加肿瘤局部复发和严重并发症的发生。为提高直肠癌的治疗效果,需减少摆位误差,提高照射的精确度。有研究表明,热塑膜体位固定 + CBCT 联合 6D 治疗床能提高摆位精度 [13]。本研究采用固定效果相对较好的体膜热塑膜配合体架的固定方式固定,再运用 CBCT 扫描获得的图像与计划重建的 DRR 图像配准,大大减少因定位设备和人为摆位的原因导致的摆位误差。首次治疗前必须采用 X 射线图像引导验证患者的治疗体位,在后续的治疗中,可以根据靶区的位置、大小、范围确定图像引导的频次。在保证图像引导高效实施的情况下,对合适的患者可考虑缩小靶区的照射范围,以减小对正常组织的不必要照射。

本次研究仅参照热塑膜上的标记线借助激光灯完成摆位,纠正摆位误差后发现平移方向摆位误差以 Y (头、脚)方向较大,旋转方向的误差以 RTN (左、右)方向较大。分析引起误差较大的原因可能与患者体型发生变化、皮肤松弛、身体正中轴线的扭曲、膀胱充盈程度、热塑膜变形等有关。另外,摆位误差还受到扫描技术、配准方式、定位标记线清晰度等的影响;同时技师摆位的严谨性、规范性也尤为重要 [14]。绕 X 轴的旋转误差较大时应视情况重新摆位,以免床面倾斜度过大,导致患者侧滑跌落。旋转方向摆位误差的精度不容忽视,有研究表明,旋转方向摆位误差会引起平移误差,旋转方向摆位误差  $> 2^\circ$  时,靶区剂量会发生 3%~5%的变化。同时,旋转方向摆位误差与 GTV 的长度呈正相关,临床实践中应引起足够的重视[15]。

综上所述,CBCT X 射线图像引导技术运用于直肠癌 IMRT 的摆位验证中可以明显减小摆位误差,提高放疗的精确度。因此使用 CBCT X 射线图像引导技术在直肠癌的 IMRT 放疗中是非常必要的。建议最好每次放疗之前先行 CBCT X 射线图像引导进行摆位验证。

## 基金项目

泰山学者青年专家(tsqn202211380),国家自然科学基金(82002083)、山东省自然科学基金(ZR2020QH004)。

## 参考文献

- [1] 曾铭玥,冯林春,从小虎,等.国产与进口精确放疗设备在直肠癌术后放疗中的临床剂量学比较[J].解放军医学院学报,2023,44(4):350-353,358.

- 
- [2] 中华医学会肿瘤学分会, 国家卫生健康委员会医政司. 中国结直肠癌诊疗规范(2023 版) [J]. 协和医学杂志, 2023, 14(4): 706-733.
- [3] 胡腾程, 涂轶, 余晨, 等. 多学科诊疗模式在结直肠癌中的应用价值[J]. 中国肿瘤外科杂志, 2023, 15(3): 256-261.
- [4] 常娜, 钱立庭, 赵于飞, 等. 放疗技术在直肠癌术前治疗中的应用与研究进展[J]. 中国肿瘤, 2019, 28(11): 861-868.
- [5] 林锋, 曾自力. PDCA 循环在降低直肠癌调强放疗摆位误差中的应用研究进展[J]. 现代医药卫生, 2022, 38(5): 791-795.
- [6] 李娜娜, 宋斌斌, 李侠, 等. 个性化发泡剂定位在直肠癌放射治疗体位固定中的应用[J]. 肿瘤学杂志, 2023, 29(2): 156-159.
- [7] 王宇留, 方涌文, 林晓生, 等. 基于 CBCT 分析三种体位固定技术在盆腔肿瘤放疗中的应用比较[J]. 现代肿瘤医学, 2023, 31(17): 3237-3242.
- [8] 李列, 刘霄, 缪伟烈, 等. 新型直肠癌放疗固定装置的设计研究[J]. 中国设备工程, 2022(16): 10-12.
- [9] 方呈祥, 孙海燕. 盆腔肿瘤放疗的锥形束 CT 应用分次间、内摆位误差研究[J]. 现代中西医结合杂志, 2014, 23(15): 1685-1686.
- [10] 吴哲, 刘可, 明智, 等. Eclipse 计划系统 NTO 对直肠癌调强放疗计划的影响[J]. 中国辐射卫生, 2022, 31(4): 471-476.
- [11] 周小琴, 罗佳, 陈川, 等. 3 种调强技术在局部晚期直肠癌术前新辅助短程放疗的剂量学比较[J]. 重庆医学, 2023, 52(2): 215-220.
- [12] 马翔, 李军, 花威, 等. ExacTrac X 射线图像引导系统在食管癌调强放疗中摆位误差分析[J]. 中国医疗器械信息, 2022, 28(7): 34-36.
- [13] 刘强, 阳覃竹, 冉付荣, 等. 颈胸上段食管癌两种固定方式放疗摆位误差的对比研究[J]. 检验医学与临床, 2016, 13(7): 881-882.
- [14] 莫小咪, 肖爱农, 伍海彪, 等. 千伏级锥形束 kV-CBCT 在鼻咽癌调强放疗摆位误差的研究[J]. 中国辐射卫生, 2016, 25(2): 206-208.
- [15] 吴海龙, 胡明宗, 付堂钊, 等. 锥形束 CT 联合六维床在直肠癌患者术前放疗中对靶区外放边界的影响[J]. 医疗装备, 2023, 36(2): 24-27.