

螺旋断层放射治疗胰腺癌摆位误差分析

何 蕾*, 孙显松, 于 浪, 王欣海, 胡 克, 邱 杰, 张福泉

(中国医学科学院 北京协和医学院 北京协和医院 放射治疗科, 北京 100730)

摘要:目的 分析在兆伏级电子计算机断层扫描(MVCT)图像引导下采用螺旋断层调强放疗技术治疗胰腺癌患者的摆位误差,并计算计划靶区(PTV)的边界(margin)外放。方法 行 MVCT 图像扫描,将扫描获取的 MVCT 图像与计划 CT 图像进行配准,记录左右(X)、头脚(Y)、腹背(Z)轴方向和横断面旋转(roll)方向的误差值,并对误差值进行分析计算。结果 共行 592 次 MVCT 扫描。X、Y、Z 和 roll 方向摆位误差值分别为 (-0.5 ± 2.8) mm、 (-1.1 ± 6.4) mm、 (6.0 ± 4.4) mm 和 $(-0.2\pm 0.7)^\circ$ 。X、Y 和 Z 3 个方向上的平均误差小于 5 mm,所占比例分别为 97.13%(575/592)、88.01%(521/592)和 37.84%(224/592),roll 方向旋转误差小于 1° ,所占比例为 93.92%(556/592)。根据公式得出在 X、Y 和 Z 3 个方向 PTV 的边界外放间距值分别为 5.2、9.9 和 7.5 mm。结论 对 MVCT 图像引导下螺旋断层放射治疗胰腺癌患者的摆位误差数据分析,为提高放射治疗精度及疗效,推荐胰腺癌放疗在 X、Y 和 Z 三维方向上 CTV 到 PTV 的 margin 外放值分别为 5、10 和 8 mm。

关键词: 胰腺癌;螺旋断层放射治疗;图像引导放射治疗;摆位误差

中图分类号:R459.9 文献标志码:A

Margins of planning target volume in pancreatic cancer with tomotherapy

HE Lei*, SUN Xian-song, YU Lang, WANG Xin-hai, HU Ke, QIU Jie, ZHANG Fu-quan

(Department of Radiotherapy, Peking Union Medical College Hospital, CAMS & PUMC, Beijing 100730, China)

Abstract: Objective Analysis of the pendulum error of pancreatic cancer patients by spiral tomography technique under the guidance of megavolt CT (megavoltage computed tomography, MVCT) image, and calculation of planned target volume, PTV) of the margin. **Methods** The MVCT image scan matched with the planned CT image, the error values of the left and right (X), head and feet (Y), abdominal back (Z) axis direction and cross-section rotation (roll) direction were recorded, and the error values were analyzed and calculated. **Results** A total of 592 MVCT scans were conducted. The X, Y, Z and roll direction swing error values were (-0.5 ± 2.8) mm, (-1.1 ± 6.4) mm, (6.0 ± 4.4) mm, and (-0.2 ± 0.7) respectively. The average error in the three directions of X, Y and Z was less than 5 mm, with 97.13% (575/592), 88.01% (521/592) and 37.84% (224/592), and roll direction rotation error of less than 1 degree, with 93.92% (556/592). According to the formula, the extra-boundary spacing values of The PTV in X, Y and Z 3 directions were 5.16, 9.9 and 7.53 mm respectively. **Conclusions** In order to improve the accuracy and efficacy of tomotherapy, The margin emission values of CTV to PTV in X, Y and Z three-dimensional directions are recommended as 5, 10 and 8 mm, respectively.

Key words: pancreatic carcinoma; tomotherapy; image guided radiation therapy (IGRT); setup errors

胰腺癌(pancreatic carcinoma)是一种恶性程度高、预后差的消化系统恶性肿瘤。因胰腺邻近大血管,肿瘤发展迅速,早期诊断困难,大部分患者确诊时已失去手术切除的机会。所以,放射治疗是晚期胰腺癌的主要治疗手段之一,并且对肿瘤的局部控制、缓解疼痛等治疗效果明显,国内外多数专家、学者早已达成共识^[1]。螺旋断层放射治疗[(helical) tomotherapy, HT]是一种全新的技术,具有独特的同源双束设计,实现了集高精度放射线疗法(intensity modulated radiation therapy, IMRT)和影像引导放射治疗(image guide radiation therapy, IGRT)于一体的放疗设备^[2]。为保证肿瘤靶区照射的精准,保护临近危及器官,治疗前均用兆伏级电子计算机断层扫描(megavoltage computed tomography, MVCT)扫描获取的图像与定位 CT 图像进行配准,以达到更好的修正摆位误差的目的^[3]。本文对 23 例接受螺旋断层调强放射治疗的胰腺癌患者的影像引导摆位误差数据进行整理分析,计算临床靶区(clinical target volume, CTV)到计划靶区(planning target volume, PTV)的边界(margin)外放。

1 材料与方法

1.1 研究对象

选取 2015 年 5 月至 2019 年 7 月在北京协和医院放疗科应用 tomotherapy 治疗的胰腺癌患者 23 例,其中女 11 例、男 12 例,年龄 19~82 岁,中位年龄 64 岁。患者一般情况较好,所有患者 KPS 评分 ≥ 70 分。

1.2 方法

1.2.1 CT 定位和计划设计:患者仰卧位,双手抱肘置于头上,采用热塑成形体部固定架对患者体位进行体位固定,在膜体上勾画出 3 个“十字”标记线作为摆位治疗标记。用 16 排 80 cm 大孔径 CT 模拟机(Brilliance 公司),层厚 5 mm,进行定位扫描,将获取图像传送至 Eclipse 治疗计划系统(瓦里安公司)上由医生

进行靶区及危及器官的勾画,并设定剂量及分割方式、危及器官限量等。传输至 tomotherapy 4.2.3 计划系统进行治疗计划设计,经临床医生批准后,行剂量验证,验证通过后即可实施治疗。

1.2.2 数据获取:放射治疗前由两名技师按照摆位要求进行摆位,每次治疗前均行一次 MVCT 扫描。再将扫描后获取的 MVCT 与定位 CT 图像进行自动配准。首次治疗由主管医生观察自动配准图像在横断面、矢状面和冠状面上与定位 CT 上相应的配准区域是否获得最佳重叠,如自动配准不理想时可进行人工配准。首先根据骨性标记将已扫描获取的 MVCT 图像与定位 CT 图像进行配准,然后根据两幅图像中的靶区和危及器官的实际重叠情况进行手动调整和修正,最终依据人工配准结果进行治疗,并记录最终获取的患者每次在左右(X 轴)、头脚(Y 轴)、腹背(Z 轴)方向和横断面旋转(cross-section rotation, roll)方向的误差值。

1.2.3 数据处理及 PTV 边界外放范围的计算:所有患者的摆位误差数据均用 Excel 软件分析,计算出每例患者所有分次的摆位误差的平均值和标准差。根据 Mckenzie^[4]推荐的公式 $\text{margin} = 2.5 \Sigma + 0.7\sigma$ 计算 X、Y 和 Z 3 个方向上的靶区外放边界值。

2 结果

2.1 摆位误差

23 例胰腺癌患者共行 592 次 MVCT 扫描,其中 X、Y、Z 方向的平均误差分别为 (-0.51 ± 2.77) mm、 (-1.14 ± 6.35) mm、 (6.01 ± 4.43) mm(表 1,2)。

2.2 Margin 值分析

根据外扩间距值得公式 $M = 2.5 \Sigma + 0.7\sigma$ 得出在三维 X、Y 和 Z 方向由 CTV 向 PTV 外扩值分别为 5.16、9.90 和 7.53 mm(表 3)。因此,临床治疗中在 X、Y 和 Z 3 个方向推荐的边界外放值分别 5、10 和 8 mm。

表 1 23 例胰腺癌患者在 X、Y 和 Z 3 个方向的平均误差值百分比

Table 1 Mean percentage error values of 23 pancreatic cancer patients in the three directions of X, Y, and Z (total number = 592)

| error value/mm | X-direction | | Y-direction | | Z-direction | |
|----------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | cases/n | percentage/% | cases/n | percentage/% | cases/n | percentage/% |
| <5 | 574 | 96.96 | 520 | 87.84 | 213 | 35.80 |
| 5~8 | 14 | 2.37 | 37 | 6.25 | 220 | 37.16 |
| >8 | 4 | 0.67 | 35 | 5.91 | 159 | 26.86 |

表 2 23 例胰腺癌患者在 X、Y、Z 3 个方向的平均误差和 roll 的旋转误差值
Table 2 Average error of 23 pancreatic cancer patients in X, Y, and Z directions and the value of roll's rotation error

| group | X/mm | Y/mm | Z/mm | roll/° |
|-------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 0.56±2.38 | -4.80±3.17 | 5.33±2.09 | -0.46±0.81 |
| 2 | 1.08±4.18 | -1.02±4.36 | 1.01±4.32 | -0.27±0.88 |
| 3 | -0.28±1.85 | -3.19±3.49 | 2.38±2.00 | 0.50±0.87 |
| 4 | -1.32±1.93 | 2.89±2.85 | 9.88±1.83 | -1.80±0.43 |
| 5 | -1.64±1.44 | -3.08±2.92 | 4.26±1.37 | -0.01±0.43 |
| 6 | 1.99±2.23 | 6.46±3.24 | 3.12±2.13 | -0.01±0.45 |
| 7 | -0.54±1.45 | -0.17±3.84 | 5.32±2.44 | -0.18±0.39 |
| 8 | -1.61±1.82 | -9.21±7.75 | 5.91±2.16 | -0.65±0.62 |
| 9 | -2.53±1.82 | 1.00±4.77 | 8.05±1.60 | 0.19±1.05 |
| 10 | -3.49±1.84 | -5.44±5.51 | 8.48±1.61 | -0.79±0.45 |
| 11 | -0.72±1.63 | -4.05±7.47 | 4.53±3.15 | -0.24±0.65 |
| 12 | -0.08±1.61 | -2.01±5.35 | 5.16±1.98 | 0.11±0.54 |
| 13 | -2.78±1.69 | -1.08±3.02 | 4.32±2.57 | -0.12±0.68 |
| 14 | -2.65±1.67 | 0.10±3.14 | 7.78±2.57 | -0.65±0.57 |
| 15 | 2.63±1.51 | -0.40±4.74 | 7.96±1.64 | -0.28±0.43 |
| 16 | 1.27±1.72 | -3.26±4.62 | 4.28±1.88 | -0.04±0.87 |
| 17 | 0.62±5.49 | 1.29±8.43 | 5.85±5.69 | -0.28±1.09 |
| 18 | -0.12±1.85 | -2.59±2.49 | 7.66±1.70 | 0.69±0.38 |
| 19 | -0.35±2.33 | -0.10±2.94 | 4.87±1.70 | 0.30±0.57 |
| 20 | 1.19±2.09 | -1.06±4.84 | 9.70±10.64 | -0.50±0.38 |
| 21 | -1.73±2.55 | -2.18±3.62 | 7.52±9.46 | -0.41±0.77 |
| 22 | -3.71±1.28 | 6.04±3.18 | 8.82±1.33 | -0.79±0.32 |
| 23 | 1.95±2.89 | 1.69±3.64 | 6.10±3.15 | -0.26±0.33 |

"-" indicates movement in the X, Y, and Z axes respectively to the right, foot, and back.

表 3 摆位误差值和 PTV 外扩 margin

Table 3 Positioning error value and PTV external expansion margin

| group | system error | σ | Σ | $2.5\Sigma+0.7\sigma$ |
|-------|--------------|----------|----------|-----------------------|
| X | -0.51 | 0.95 | 1.80 | 5.16 |
| Y | -1.14 | 1.64 | 3.50 | 9.90 |
| Z | 6.01 | 2.44 | 2.33 | 7.53 |

3 讨论

Tomotherapy 每次治疗前行 MCVT 图像扫描可实现在线配准,并直观了解患者当次治疗前的靶区和危及器官间的位置关系及靶区体积的情况,进行在线的位置修正,可有效提高肿瘤治疗的精度,减轻患者毒副反应^[5-6]。但过多外放会导致靶区周围更

多的正常组织受到照射,所以合适的外放是放疗过程中的关键参数。

Mami 等人的研究在每次治疗前进行图像引导下的胰腺癌患者的误差分析,X、Y 和 Z 3 个方向的 PTV 的 M 值分别是 8.9、9.8 和 11 mm,在 Y 方向误差值较大的主要原因是由呼吸运动导致胰腺位置变化大造成的^[7]。这与本研究的结果一致,因此建议在今后的胰腺癌放射治疗中引入 4DCT(four-dimensional computed tomography)技术。它应用呼吸门控技术进行 CT 图像的采集、放疗计划设计和放射治疗,可检测在呼吸周期中肿瘤移动的幅度和方向^[8-9]。由于 tomotherapy 实际治疗位置与摆位位置有 700 mm 的距离,所以首次治疗时治疗床板的沉降数值较大,待初次治疗时床下沉的校正值系统自

动记录,在以后的治疗中进行修正,从而减少 Z 方向的摆位误差^[10-11]。

计算靶区安全边界外放时, Mckenzie 等人结合 DVH 参数和靶区覆盖等讨论 margin 的外放, 得出 CTV 到 PTV 外扩边界至少应为 $M = 2.5\sigma + 0.7\sigma$ ^[4]。Van Herk 也做了相同的研究,其推荐的公式为 $M = 2.5\sigma + 0.7\delta - 3$,算出的外放边界比 Mckenzie 等的算法小,并将呼吸运动引起的胰腺位置误差计算在

内^[12]。考虑到研究未引入 4DCT 技术到放射治疗中及脱靶的风险,所以采用前者的研究结果进行 margin 计算。

综上所述, tomotherapy 自带的 MVCT 图像引导系统可有效修正胰腺癌患者在治疗前的随机误差和摆位误差,计算出胰腺癌放射治疗在 X 、 Y 和 Z 三维方向上靶区边界外放 (margin) 边界值 5、10 和 8 mm,为精准放疗的实施提供了依据。

参考文献:

- [1] 任刚, 王竞, 夏廷毅, 等.《胰腺癌综合诊治中国专家共识(2014年版)》放射治疗部分的解读[J]. 临床肝胆病杂志, 2014, 12: 1249-1252.
- [2] 侯晓荣, 杨波, 刘志凯, 等. 螺旋断层调强与固定野调强技术在全乳放疗中的近期临床效果[J]. 协和医学杂志, 2013, 4: 377-382.
- [3] 黄娜, 冯玺, 高绪峰, 等. 盆腔肿瘤螺旋断层放疗中分次间位置移动度的分析[J]. 肿瘤预防与治疗, 2015, 2: 77-79.
- [4] Mckenzie AL, Herk MV, Mijnheer B. The width of margins in radiotherapy treatment plans[J]. Phys Med Biol, 2000, 45, :3331-3342.
- [5] Whitfield G, Jain P, Green M, et al. Quantifying motion for pancreatic radiotherapy margin calculation [J]. Radiother Oncol, 2012, 103.
- [6] Mackie, RT. History of tomotherapy[J]. Phys Med Biol, 2006, 51: R427-R453.
- [7] Akimoto M, Nakamura M, Nakamura A, et al. Inter- and intrafractional variation in the 3-dimensional positions of pancreatic tumors due to respiration under real-time monitoring[J]. Int J Radiat Oncol, 2017, 98: 1204-1211.
- [8] Van, der Geld, Ylanga G. Evaluating mobility for radiotherapy planning of lung tumors: A comparison of virtual fluoroscopy and 4DCT [J]. Lung Cancer, 2006, 53: 31-37.
- [9] 王伟平, 胡克, 张福泉. 放疗新技术在胰腺癌治疗中的应用[J]. 协和医学杂志, 2015, 4: 300-304.
- [10] 李洪明, 于浪, 孙显松, 等. MVCT 引导下螺旋断层调强放射治疗摆位误差及靶区边界外放分析[J]. 中国医学装备, 2017, 7: 55-58.
- [11] 朱夫海, 胡小龙, 刘鹤飞, 等. 螺旋断层放射治疗乳腺癌摆位误差分析[J]. 中华乳腺病杂志(电子版), 2015, 3: 178-181.
- [12] Van Herk M. Errors and margins in radiotherapy [J]. Semin Radiat Oncol, 2004, 14: 52-64.