**肺癌调强放射治疗中摆位误差分析及CTV-PTV外放边界的研究**

张骥 宰宇 唐甜

(中南大学湘雅三医院，湖南 长沙，410013)

摘要：目的：采用千伏级锥形束CBCT（Kilovolt cone-beam computed tomography）测量和分析肺癌调强放疗摆位误差，并依此分析CTV外扩至PTV的边界大小，为我科放疗计划的设计提供一定的理论依据。方法：对2019年1月-8月在我院全程进行图像引导放射治疗的60例肺癌患者的摆位误差进行测量。体位固定采用一体板和热塑体膜。每例患者在第一周的每一次以及之后的每周放射治疗前利用锥形束CT扫描；将获取的CBCT影像与治疗计划CT进行比较，记录并分析治疗过程中的摆位误差，依此为依据计算CTV-PTV外放边界大小。结果：60例肺癌共采集413次摆位数据；经测量得到X左右方向误差为（1.66232±1.42225）mm；Y头脚方向误差为（2.12705±1.36656）mm；Z背腹方向误差为（2.11932±1.58024）mm；经公式计算，得到我科肺癌外扩CTV理论边界X左右、Y头脚、Z背腹各方向分别为1.88mm、5.66mm、2.71mm。结论：分析肺癌治疗前的摆位误差，可以为我科外扩CTV边界提供理论依据，让我科治疗计划更为科学合理。

关键词：肺癌；调强放射治疗；摆位误差；外扩边界

**Analyzing of Set-up Error and Research on Expanding Margins of ctv-ptv in Intensity-Modulated Radiotherapy for lung cancer**

Zhang ji ，Zai yu， Tang tian

(The Third Hospital of Central South University, Changsha 410013, China)

**Abstract:** objective: To measure and analyze the set-up errors of intensity modulated radiotherapy for lung cancer and calculate the CTV referential safety margins of PTV by using Kilovolt cone-beam computed tomography (CBCT) ,which can providing a theoretical basis for the design of radiotherapy plan in our department. . Methods: The set-up errors of 60 patients undergoing image-guided radiotherapy in our hospital during May-August in 2019 were examined in this study. An integral plate and thermoplastic membrane was used for immobilization. A cone beam CT scan was taken for each patient prior the first treatment and the latter per week; Compared the obtained CBCT images and CT images of the treatment plan, we recorded the set-up errors and analyzed the CTV referential safety margins of PTV according to the ctv-ptv boundary formula. Results: Total of 413 images were obtained from 60 patients, and the setup errors of X, Y and Z were(1.66232±1.42225)mm, (2.12705±1.36656)mm and (2.11932±1.58024)mm, respectively; The margin of PTV of lung cancer in three directions (X,Y,Z) was 1.88 mm, 5.66 mm and2.71 mm respectively. . Conclusion: It has laid a theoretic foundation for our CTV margins by analyzing the set-up errors and made our design of radiotherapy system more scientific and normal.

**Key words:** Lung cancer; Intensity Modulated Radiotherapy; Set-up errors; Margin

近年来，随着科学技术的飞速发展，调强放射治疗已成为肺癌的主要治疗手段之一。调强放射治疗相比于常规的三维适形放射治疗，能更好地优化配置照射野内射线束，使剂量分布梯度更好，靶区的适形度更好，在提高肿瘤的控制率的同时，降低放射性肺炎等副反应的发生概率；但精确的技术对摆位的精度具有更高的要求。国内外多项研究[1-3]表明，摆位重复性是调强放疗成功与否的关键因素，与患者的体位固定方式、设备的精度、放疗技师个人工作质量有着密切的关系。国际放射单位及测量委员会也在ICRU在50[4]和62号[5]报告中明确规定：在进行调强放疗时，体位不确定度必须加以考虑，具体可以通过在临床靶体积（CTV,Clinical Target Volume）的基础上外放一定的距离形成计划靶体积（PTV，planning target volume）来解决，这个距离包括了器官的自主和不自主运动以及摆位和重复摆位的误差。对于肺癌而言，如果这个外扩距离过大，很有可能引起正常肺组织受到不必要的照射，增大放射性肺炎的发生概率；如果外扩边界过小，则有可能造成肿瘤的漏照，进而引起肿瘤局部的控制率下降。

目前，由于国内外各家医院由于体位固定技术上的差异，如何设置PTV尚无统一标准[6-7]。本文通过应用Varian Truebeam直线加速器机载的千伏及锥形束CT（Kilovolt cone-beam computed tomography，CBCT）采集了我科60例肺癌患者治疗期间的413组摆位误差数据，并进行精度观察和统计分析，根据我科自己的实际情况得到了适合我院的CTV-PTV的外扩边界，为临床提供数据基础。

1 材料与方法

1.1病例选择

选取我院60例于2019年1月-2019年8月全程进行图像引导放射治疗的肺癌患者，其中男性患者48例，女性患者12例，平均年龄54岁（41-73岁）。

1.2体位固定及CT扫描

60例患者均采用仰卧位，头枕合适型号的发泡头枕，双手交叉抱肘，采用Klarity的一体板和胸腹部热塑体膜进行体位固定。体位固定后，使用德国Siemens公司的SOMATOM型号的螺旋CT对每位患者的平静呼吸状态进行增强CT扫描，扫描范围从第6颈椎至第二胸椎，扫描电流为80mA，电压为120KV，层厚、层距均为5mm，分辨率为512×512。扫描完成后，影像数据通过DICOM传输至Eclipse治疗计划系统工作站，分别由医生和物理师进行靶区勾画和计划设计。

1.3CBCT图像扫描和摆位误差记录

CBCT图像扫描采用Varian TRUEBEAM加速器的OBI机载影像系统，扫描参数为：M20、100KV、10mAs。扫描角度360°。60例患者行常规CBCT验证（即前一周每次验证，后每周扫描一次），进行在线校位，共扫描413次。我们将每次CBCT获取的图像和计划系统相应的DRR（digital reconstruction radiograph）片通过自动加手动的方式进行图像配准，匹配框的设定范围包括肿瘤靶区及其附近骨结构（IEC1217标准）。配准后，记录好治疗床在X轴（Laternal、左右方向）、Y轴（Longitudinal、头脚方向）、Z轴（Vertical、背腹方向）3个方向上的摆位误差数值。

1.4CTV外扩边界的计算

上述步骤得到的各个方向的摆位总误差包括随机误差（random error）和系统误差（systematic error） [9]。

系统误差具有规律性，对于某一患者来说在整个治疗过程中是恒定的，其主要来源于加速器的机械误差、激光灯定位等，通常用∑表示；

其中为每次摆位（拍片）误差，N为摆位（拍片）次数。

随机误差具有偶然性，是患者每次治疗时体位重复性的差异，其主要来源于技术员摆位操作、患者器官运动等，通常用σ表示；

Van Herk[10-12] 等通过蒙特卡洛模型，运用群体化累积剂量分布概率法，采用DVH和靶区覆盖可能性分析，指出为使90%患者的CTV累积剂量至少接受95%的处方剂量，CTV-PTV外放边界至少应为MPTV=2.5∑总+0.7σ总。

1.5统计学分析及计算

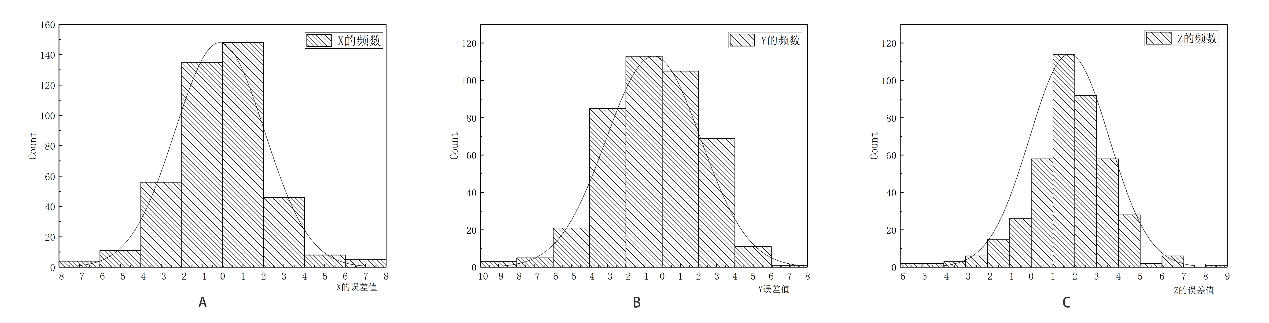
⑴数据处理：采用SPSS 22统计软件对摆位误差数据进行分析，在分析数据时，为避免正负相抵，所有误差均取绝对值。三维方向误差数据结果以均值±标准差（）来表示；

⑵图像处理：采用Origin 2017作图软件，分析三维方向的摆位误差分布。

1. 结果

2.1摆位误差数据分析

对这60例肺癌患者进行的每周CBCT扫描校准过程中产生的413组三维方向的摆位数据进行统计分析，得到X左右、Y头脚、Z背腹的3个方向误差分别为（1.66232±1.42225）mm、（2.12705±1.36656）mm、（2.11932±1.58024）mm，最大误差为-7.6mm、-9.8mm、8.3mm（见表1）。三个方向上的摆位误差均呈正态分布（见图1），其中误差绝对值小于3mm时，X轴方向为339次（占82.1%）；Y方向为 303次（占73.4%）；Z方向为 311次（占75.3%）；摆位误差在3-5mm之间时，X轴方向为57次（占13.8%）；Y方向为 90次（占21.79%）；Z方向为91次（占22%）；摆位误差大于5mm时，X轴方向为17次（占4.12%）；Y方向为20 次（占4.84%）；Z方向为11次（占2.66%）（如表2所示）。



注：图中A为左右（X）方向的误差分布；B为头脚（Y）方向的误差分布；C为背腹（Z）方向的误差分布

图1 60例肺癌患者413次摆位数据误差分布图

Fig1. Error distribution of 413 Set-up errors in 60 lung cancer patients

表1 60例肺癌患者摆位误差大小（单位mm，x±s）

Table1. Set-up errors of 60 Lung cancers（mm，x±s）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 坐标方向 | 最大值 | 最小值 | 均值±标准差 |
| X | -7.6 | 0 | 1.66232±1.42225 |
| Y | -9.8 | 0 | 2.12705±1.36656 |
| Z | 8.3 | 0 | 2.11932±1.58024 |

表2 60例肺癌患者摆位误差发生率（%（m/n））

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 误差范围 | X轴（左右方向） | Y轴（头脚方向） | Z轴（前后方向） |
| ≤3mm | 339（82.1%） | 303（73.4%） | 311（75.3%） |
| 3-5mm | 57（13.8%） | 90（21.79%） | 91（22%） |
| ＞5mm | 17（4.12%） | 20（4.84%） | 11（2.66%） |

注：m表示摆位在某范围内的次数，n表示摆位总次数

2.2外扩边界的分析

60例肺癌患者在实验过程中的摆位误差及外扩边界如表3所示。其中X左右方向系统误差为0.18mm，随机误差2.04mm，外扩边界1.88mm；Y头脚方向系统误差为0.94mm，随机误差4.73mm，外扩边界5.66mm；Z背腹方向系统误差0.47mm，随机误差2.19mm，外扩边界2.71mm。

表3 肺癌患者摆位误差及外扩边界（单位mm）

Table3 Set-up errors and margin for 60 Lung cancers（mm）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 坐标方向 | 病例数 | 摆位次数 | ∑ | σ | 外扩边界 |
| X | 60 | 413 | 0.18 | 2.04 | 1.88 |
| Y | 60 | 413 | 0.94 | 4.73 | 5.66 |
| Z | 60 | 413 | 0.47 | 2.19 | 2.71 |

3讨论

在摆位误差中, 系统误差可以通过经常性地校准设备、降低CT扫描层厚层距等来降低。由上述结果可以看出, 我科各部位的摆位系统误差均控制在1 mm以内, 这就为降低摆位总误差打下了坚实基础, 因为从外扩边界公式 MPTV=2.5Σ+0.7σ可以看出, 系统误差在外扩边界大小中起了非常大的作用, 而随机误差对外扩边界的影响较小。

尽管如此, 我们在对研究结果进行分析时发现随机误差也不可小视。ICRU24[13] 号报告指出要保证调强放射治疗的精确性，首先应保证体位重复性的差异降低到最小。报告指出在放疗过程中体位移动3mm，疗效会下降3.3%；移动5mm，疗效下降18.4%；移动6mm，疗效下降33.1%。在分析60例肺癌患者的摆位误差时，我们发现: 摆位误差在Y头脚方向（2.12705±1.36656）mm最大，Z背腹方向（2.11932±1.58024）mm次之，最小的为X左右方向（1.66232±1.42225）mm。Y头脚方向摆位误差考虑与患者的胸部呼吸运动及手臂抱头姿势的重复性有关；Z背腹方向的误差考虑与性别、体质量等个体差异因素有关；X左右方向的误差考虑与体膜松紧度、餐后时间有关。这些数据提示着我们在放疗过程的摆位过程中应特别注意头脚方向。此外，对于肺癌患者，我们通过公式计算出的X、Y、Z方向的外扩边界分别为1.88mm、5.66mm、2.71mm，但在分析中我们看到X、Y、Z方向的最大误差分别为-7.6 mm、9.8 mm、8.3 mm, 其中至少有一个方向、至少一次摆位误差 >5 mm 的有17次, 占摆位总次数的4.12%。也就是说即使我们将各个方向的边界外扩5mm,肺癌患者仍有一部分至少有某一个方向的一次治疗没有完全包绕 CTV, 因此我们将肺癌患者各个方向的外扩边界取为10mm, 这样就使得100%的胸、腹部患者的每一次治疗都完全包绕靶区(CTV) 。

针对我科肺癌患者随机误差较大的情况，我们加大对技术员的培训和管理, 并配合对患者的呼吸训练, 使得我科胸部摆位随机误差大大降低，近两个月我科已将肺癌胸部靶区的各个方向外扩边界缩小至5mm。总之，在实际治疗过程中，摆位误差是难以避免的。放射治疗技术员作为放射治疗的执行者，我们一方面要树立好放射治疗质量控制的思想意识，另一方面还要明确各个环节的误差来源、分析方法和解决办法，才有可能地将摆位误差降低到最低。本文通过一体板和胸腹部网膜有效地控制了摆位误差的系统误差，同时通过对摆位误差的分析为我科肺癌外扩CTV边界提供了理论依据，确定了CTV-PTV外扩边界的大小，使得我科治疗计划的设计更为科学合理。

参考文献

[1]胡逸民,张红志,戴建荣.肿瘤放射物理学[M].北京:原子能出版社.1999:538-541.

[2]张淑慧,杨敬贤.肿瘤放射治疗摆位技术质量控制的探讨[J].中国医学物理学杂志,2013, 6(30): 4507-4511

[3]胡逸民,杨定宇.肿瘤放射治疗技术[M].北京:北京医科大学,中国协和医科大学联合出版社，1999:14

[4]ICRU. Prescribing, recording, and reporting photon beam therapy. ICRU Report No.50,1993.

[5]ICRU. Prescribing , recording , and reporting photon beam therapy. ICRU Report No.62,1999.

[6]Stroom JC,de Boer HC,Huizenga H et al.Inclusion of geometrical uncertainties in radiotherapy treatment planning by means of coverage probability［J］.Int J Radiat Oncol Biol Phys,1999,43 ( 4 ) : 905-919

[7]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

[8]ICRU. Prescribing, recording, and reporting photon beam therapy. ICRU Report No.83,2010

[9]Hurkmans CW, Remeijer P, Lebesque JV, et al. Set- up verification using portal images; reviewof current clinical practice [J]. Radiotherapy and Oncology, 2001,58(2):105- 120.

[10]McKenzie A,van -Herk M,Mijnheer B. Margins for geometric uncertainty around organs at risk in radiotherapy[J]. Radiother Oncol,2002,62(3):299-307.

[11]van -Herk M,Remeijer P,Lebesque J V. Inclusion of geometric uncertainties in treatment plan evaluation[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys,2002,52(5):1407-1422

[12]van -Herk M，Remeijer P，Lebesque J V. Errors and margins in radiotherapy[J]. Semin Rasiat Oncol,2004,14(2):52-64

[13]ICRU. Prescribing, recording, and reporting photon beam therapy. ICRU Report No.24,1976