

基于四维CT和TumorLoc软件测定肺下叶呼吸动度

高文超,王军良,周振山,郑倩倩,申戈,杨海燕,盛洪国,齐伟华,李伟,吴世凯
解放军第307医院放疗科,北京 100071

【摘要】目的:利用四维CT(4D-CT)和TumorLoc软件,研究肺下叶(右膈肌层面)距离脊柱不同位置处的呼吸动度。**方法:**采用放疗专用Philips Brilliance 24排大孔径CT定位机对10例行真空垫固定的患者进行4D-CT模拟定位扫描,将每个呼吸周期的CT图像平均分为10个呼吸时相。通过TumorLoc软件打开每例患者的10个呼吸时相图像,获得肺下叶内(右膈肌层面)距离脊柱40、50、60、70、80、90 mm处血管中心点在三维方向的位移,分析位移变化及左右距离脊柱相同距离位置处三维方向的相关性。**结果:**左肺下叶(右膈肌层面),距离脊柱40、50、60、70、80、90 mm位置处,呼吸动度在Z方向(头脚)分别为 (9.5 ± 2.5) mm、 (9.7 ± 2.6) mm、 (9.5 ± 2.5) mm、 (9.3 ± 2.3) mm、 (9.7 ± 2.5) mm、 (9.5 ± 2.6) mm;右肺下叶(右膈肌层面),距离脊柱40、50、60、70、80、90 mm位置处,呼吸动度在Z方向(头脚)分别为 (10.5 ± 2.7) mm、 (11.4 ± 3.1) mm、 (11.3 ± 3.2) mm、 (11.5 ± 3.0) mm、 (11.6 ± 4.0) mm、 (11.7 ± 4.3) mm;左右相同距离位置处,X方向(左右)、Y方向(前后)差异无统计学意义($P>0.05$)。左右相同距离位置处,Z方向(头脚)在40、50、60 mm处差异有统计学意义(P 分别为0.005、0.007、0.005);Z方向在70、80、90 mm处差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**应用4D-CT通过TumorLoc软件可精确测量肺下叶(右膈肌层面)不同位置处在三维方向的呼吸运动度。

【关键词】肺下叶;四维CT;呼吸动度;TumorLoc

【中图分类号】R851

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)09-0944-04

Respiratory motion of inferior lobe of lung measured by four-dimensional CT and TumorLoc software

GAO Wen-chao, WANG Jun-liang, ZHOU Zhen-shan, ZHENG Qian-qian, SHEN Ge, YANG Hai-yan, SHENG Hong-guo, QI Wei-hua, LI Wei, WU Shi-kai

Department of Radiation Therapy, 307th Hospital of Chinese People Liberation Army, Beijing 100071, China

Abstract: Objective To investigate the respiratory motion of inferior lobe of lung (the right diaphragm) in different distances away from spine by using four-dimensional CT (4DCT) and TumorLoc software. **Methods** Ten patients immobilized by vacuum pad were scanned by Philips Brilliance 24 rows big bore 4DCT simulator. The CT images of each respiratory period were divided into 10 respiratory time phases. The 10 respiratory time phase images of each patient were conducted by using TumorLoc software. The displacement of vessel center point away from spine 40, 50, 60, 70, 80, 90 mm on inferior lobe of lung (the right diaphragm) in the three-dimensional (3D) directions were obtained. The correlation of displacement and the 3D directions with the same distance away from spine in the left and the right was analyzed. **Results** The respiratory motion of the vessel center points away from spine 40, 50, 60, 70, 80, 90 mm on inferior lobe of the left lung (the right diaphragm) were respectively (9.5 ± 2.5) , (9.7 ± 2.6) , (9.5 ± 2.5) , (9.3 ± 2.3) , (9.7 ± 2.5) , (9.5 ± 2.6) mm in Z direction, and those on inferior lobe of the right lung (the right diaphragm) were respectively (10.5 ± 2.7) , (11.4 ± 3.1) , (11.3 ± 3.2) , (11.5 ± 3.0) , (11.6 ± 4.0) , (11.7 ± 4.3) mm in Z direction. No significant differences were found in the points with the same distance from left and right in the X and Y directions ($P>0.05$). At the points with the same distance away from spine in the left and the right, statistical significance was found in the vessel center points away from spine 40, 50, 60 mm in Z direction ($P=0.005$, $P=0.007$, $P=0.005$), and no statistical significance was found in the vessel center points away from spine 70, 80, 90 mm in Z direction ($P>0.05$). **Conclusion** The respiratory motion of 3D directions at different points on inferior lobe of lung (the right diaphragm) can be accurately measured by using 4DCT and TumorLoc software.

Key words: inferior lobe of lung; four-dimensional CT; respiratory motion; TumorLoc

【收稿日期】2016-05-18

【作者简介】高文超,物理师,主要研究方向:医学物理,E-mail:1051027497@qq.com

【通信作者】王军良,博士,物理师,主要研究方向:医学物理,E-mail:wjl1000@tom.com

前言

随着放疗技术的发展,精确放疗已成为放疗的主流^[1]。在肺部肿瘤放射治疗过程中,肿瘤受呼吸运动影响产生位移,使治疗靶区与实际靶区发生偏移,该偏移量与肿瘤的位置有相关性,幅度几毫米到几十毫米^[2-4]。而位于膈肌附近的肺下叶,受呼吸运动影响更大,单纯由临床靶区(CTV)外扩一定边界可能会造成靶区漏照或正常组织受照^[5-8]。四维CT(Four-Dimensional Computed Tomography, 4D-CT)定位技术可将患者呼吸运动曲线与受呼吸影响的器官及肿瘤的位移记录下来,使对器官和肿瘤的动态观察成为可能。

在肺下叶(右膈肌层面)精确放疗中,呼吸引起的靶区或器官运动直接影响到计划靶区(PTV)剂量与实际靶区剂量的吻合度,ICRU 62号报告^[9]将PTV中器官运动与治疗重复区分开来,增加了内靶区(ITV)概念,定义为正常器官生理运动和疗程中靶区的形变而导致的CTV在三维方向的改变。ITV的确定需要明确呼吸周期对靶区的影响,而4D-CT扫描可得到各个呼吸周期的图像,再现肿瘤的真实形态,反应肿瘤的运动规律和范围,进而保证精确放疗^[10-11]。目前基于4D-CT的呼吸动度研究中,关于肺内肿瘤的研究较多,而测量的肿瘤位置在肺内是随机的,没有固定的位置。因此,笔者选取距离脊柱不同位置为固定测量点,测量参考物为此位置处的血管中心点,通过这种方法来固定其肺内测量位置,为靶区勾画提供参考。

本研究利用4D-CT和TumorLoc软件,对肺下叶(右膈肌层面)距离脊柱不同位置处呼吸运动进行测量,对数据进行统计分析,为靶区勾画提供依据,确保放疗精确度。

1 材料与方法

1.1 TumorLoc软件

TumorLoc(肿瘤定位)软件提供了多种工具,可帮助进行等中心定位和简单的CT模拟,如分隔工具用于定义器官,管理工具用于操控资料库中的器官定义,以手动和自动生成轮廓等。TumorLoc还可用于肺门控检查(包括所有相位信息),并且显示呼吸波形,同时还可创建MIP、MinIP、Averager数据集。

1.2 研究对象

患者一般状况良好,下肺无胸腔积液,呼吸正常,影像无明显伪影,呼吸频率(BR)为16~23。

1.3 测量点的选取

测量点是在0%时相图像上选取,脊柱的选择主

要在胸9到胸10范围内(7例患者为胸9,3例患者为胸10),以0%时相图像上选取的血管中心点(选取血管便于观察)为测量点,在其它时相图像上测量其三维方向位置的变化。图1显示的测量点是在0%时相图像上,距离胸10脊柱(脊柱上的选点定义在椎管中心)40 mm处的血管中心点。

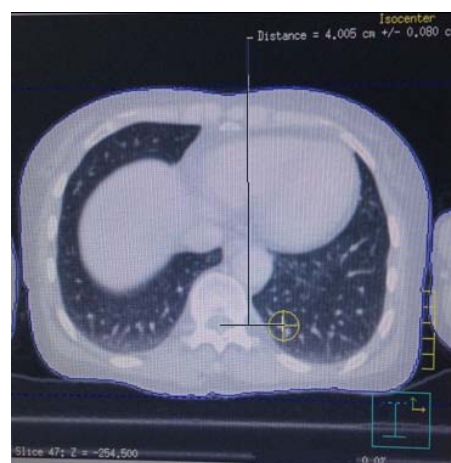


图1 测量点示意图

Fig.1 Diagram of measurement points

1.4 方法

患者仰卧,双手自然置于体侧,真空袋固定,在腹部放置CT定位机自带的可变形的橡胶带,通过橡胶带的松紧程度,并经计算机处理转化为呼吸曲线。呼吸平稳后,获得BR,根据 $Pitch = (BR \div 60) \times Rotation\ Time$,输入Pitch值(其它扫描参数设置:层厚1.5 mm, Collimation为16.00×0.75, Rotation Time为0.5 s)。之后开始扫描,扫描后的图像重建得到10个不同呼吸时相,其中0%为吸气末,50%为呼气末。通过TumorLoc软件打开10个时相,分别测量位于膈肌附近处左、右肺下叶距离脊柱40、50、60、70、80、90 mm处血管中心点三维方向变化。

1.5 统计学方法

采用SAS 9.3统计软件进行分析,不同距离位置处呼吸动度的比较采用单因素方差分析,左、右肺下叶相同距离位置处相关性检验采用Pearson相关分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

(1)左、右肺下叶(右膈肌层面)距离脊柱不同距离位置处三维方向呼吸动度(表1和表2)。由表可得,肺下叶运动度主要发生在Z(头脚)方向,运动幅度介于6.9~16.0 mm, X(左右)、Y(前后)方向比Z方向小很多,介于0.6~3.3 mm;同时在Z方向上,左肺下叶运动度比右肺下叶大,而在X、Y方向上,左、右肺下叶运动度没有明

显规律。

(2)左、右相同距离位置处,X、Y方向差异无统计

学意义;Z方向在40、50、60 mm处差异有统计学意义,Z方向在70、80、90 mm处差异无统计学意义(表3)。

表1 左肺下叶不同距离位置处三维方向的呼吸动度

Tab.1 Respiratory motion of three-dimensional (3D) directions at different points of inferior lobe of the left lung with different distances away from spine

3D-direction	Distance/mm					
	40	50	60	70	80	90
X	1.3±0.5	1.0±0.4	1.4±0.7	2.0±0.6	2.0±0.7	2.1±1.1
Y	1.9±0.8	2.4±1.1	2.2±0.9	2.0±0.8	2.1±1.0	2.4±1.0
Z	9.5±2.5	9.5±2.5	9.5±2.5	9.3±2.3	9.7±2.5	9.5±2.6

表2 右肺下叶不同距离位置处三维方向的呼吸动度

Tab.2 Respiratory motion of 3D directions at different points of inferior lobe of the right lung with different distances away from spine

3D-direction	Distance/mm					
	40	50	60	70	80	90
X	1.3±0.7	1.3±0.7	1.7±0.5	1.6±0.7	2.0±0.8	2.3±0.6
Y	2.3±1.0	1.8±1.0	2.1±0.9	1.8±0.6	2.3±0.6	2.3±0.9
Z	10.5±2.7	11.1±3.0	11.3±3.2	11.5±3.0	11.6±4.0	11.7±4.3

表3 左、右相同距离位置处三维方向的P值

Tab.3 P value of 3D directions at points with the same distance away from spine in the left and the right

3D-direction	Distance/mm					
	40	50	60	70	80	90
X	0.486	0.068	0.514	0.309	0.108	0.311
Y	0.143	0.389	0.943	0.433	0.801	0.825
Z	0.005	0.007	0.005	0.094	0.262	0.134

3 讨论

测量中发现Z方向上,最大位移差是在0%和50%时相,而X、Y方向则不一定,所以利用4D-CT进行靶区勾画时,不能只以0%和50%时相来确定靶区范围,有可能造成靶区X、Y方向的遗漏,与Rietzel等^[12]报告一致。在TumorLoc软件中还提供了MIP数据集,MIP图像代表了呼吸周期中肺内肿瘤出现的最大范围,在此图像上勾画也可得到ITV,减少了勾画的工作负荷。缺点是需要良好的密度差异作对比,当肿瘤附近有等密度或高密度组织如纵膈、膈肌等,MIP不能充分显示运动结构;MIP是融合图像,不能正确反映器官的密度,计划剂量计算和评估过程要在单个时相图像上进行^[13-16]。

本研究结果还显示Z方向上,右肺下叶(右膈肌层面)呼吸动度大于左肺下叶(右膈肌层面)呼吸动度。因为右膈肌高于左膈肌,本研究测量的是右膈肌层面肺下叶的呼吸动度,而左膈肌层面还未出来或出来一两层,即相对于右肺下叶,左肺下叶受左膈肌运动影响小,所以左肺下叶Z方向呼吸动度小;肺下叶不同距离位置处,呼吸运动个体差异明显,如选取右侧肺下叶(右膈肌层面)两例患者,距离胸10椎体为40 mm处,三维方向动度分别为:病例1,X、Y、Z为1.3、0.5、13.5 mm;病例2,X、Y、Z为1.8、4.7、7.5 mm。因此,在设置PTV时需个体化测量,与Rietzel等^[1]结果相符。

对于Z方向上,左、右等距离40、50、60 mm处,差

异有统计学意义($P<0.05$)。而左、右等距离70、80、90 mm处,差异无统计学意义($P>0.05$)。笔者认为在40、50、60 mm处,距离右膈肌及胸廓相对较远,受影响小,而70、80、90 mm处,受右膈肌及胸廓运动影响大。

本研究局限在于脊柱的选择主要集中在胸9和胸10,而对别的脊柱并未研究;橡胶带在检测呼吸运动过程中,产生的呼吸信号与内部器官位置的关联关系需要更多的研究。总之,利用TumorLoc软件和4D-CT,可定量测量肺下叶(右膈肌层面)不同位置处的呼吸动度。

【参考文献】

- [1] RIETZEL E, LIU A K, DOOPPKE K P, et al. Design of 4D treatment planning target volumes[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 66(1): 287-295.
- [2] BALTER J M, TEN HAKEN R K, LAWRENCE T S. Uncertainties in CT-based radiation therapy treatment planning associated with patient breathing[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1996, 36(1): 167-174.
- [3] 周海英, 吴爱萍, 王宝杰, 等. 肺部巨大孤立性纤维性肿瘤手术治疗体会[J]. *实用医学杂志*, 2015, 31(23): 3979-3980.
ZHOU H Y, WU A P, WANG B J, et al. Experience of pulmonary solitary fibrous tumor surgery [J]. *The Journal of Practical Medicine*, 2015, 31(23): 3979-3980.
- [4] 李政良, 柏晗, 李文辉, 等. 4DCT下肺癌大肿瘤的变化及相关因素分析[J]. *中国医学物理学杂志*, 2016, 33(2): 208-212.
LI Z L, BO H, LI W H, et al. Analysis on changes of gross tumor and related factors in four-dimensional computed tomography for lung cancer[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2016, 33(2): 208-212.
- [5] 王义海, 潘广鹏, 卢艳荣, 等. 基于4维CT的呼吸门控技术分析呼吸动度对肺部肿瘤的影响[J]. *新疆医科大学学报*, 2014, 37(5): 581-583.
WANG Y H, PAN G P, LU Y R, et al. Influence of respiratory motion based on 4 dimensional CT for lung cancer[J]. *Journal of Xinjiang Medical University*, 2014, 37(5): 581-583.
- [6] SHIRATO H, ONIMARU R, ISHIKAWA M, et al. Real-time-4D radiotherapy for lung Cancer[J]. *Cancer Sci*, 2012, 103(1): 1-6.
- [7] 尚东平, 李明焕, 李建彬, 等. 四维CT技术确定肺内孤立性病灶靶体积应用[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2011, 20(5): 417-419.
SHANG D P, LI M H, LI J B, et al. The application of four-dimensional CT technique in determining the planning target volume of the solitary pulmonary lesion [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2011, 20(5): 417-419.
- [8] 罗国民, 王瑾. 肺癌精确放疗的误差及其控制[J]. *中国肿瘤临床*, 2014, 41(4): 276-279.
LUO G M, WANG J. Evolution and control of errors in precision radiotherapy of lung cancer [J]. *Chinese Journal of Clinical Oncology*, 2014, 41(4): 276-279.
- [9] International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU report 62. Prescribing, recording and reporting photon beam therapy (Supplement to report 50)[R]. Bethesda: ICRU, 1999.
- [10] 王冬, 田金, 许锋, 等. 放疗新技术的研究进展[J]. *中国医疗设备*, 2015, 9(2): 69-71.
WANG D, TIAN J, XU F, et al. Research progress of new radiotherapy technology [J]. *China Medical Devices*, 2015, 9(2): 69-71.
- [11] 王义海, 阿合力·那斯肉拉, 潘广鹏, 等. 四维CT呼吸门控技术联合图像引导放射治疗在肺癌中的应用[J]. *重庆医学*, 2014, 43(30): 3994-3996.
WANG Y H, AHELI N S, PAN G P, et al. Preliminary study in the treatment of lung cancer by using respiratory gating based on four-dimensional CT applied to IGRT [J]. *Chongqing Medicine*, 2014, 43(30): 3994-3996.
- [12] RIETZEL E, CHEN G T, CHOI N C, et al. Four-dimensional Image-based treatment planning: target volume segmentation and dose calculation in the presence of respiratory motion [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2005, 61 (5): 1535-1550.
- [13] UNDERBERG R W, LAGERWAARD F J, SLOTMAN B J, et al. Use of maximum intensity projections (MIP) for target volume generation in 4D-CT scans for lung cancer[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2005, 63(1): 253-260.
- [14] COVER K S, LAGERWAARD F J, SENAN S. Color intensity projections: a rapid approach for evaluating four-dimensional CT scans in treatment planning [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 64(3): 954-961.
- [15] 何瀚, 包勇, 张黎, 等. 四维CT中MIP融合图像的肺癌内靶体积确定[J]. *中国肿瘤*, 2007, 16(4): 267-271.
HE H, BAO Y, ZHANG L, et al. Internal target volumes determined with maximum intensity projection (MIP) fused images of four-dimensional CT(4D-CT) in lung cancer [J]. *Bulletin of Chinese Cancer*, 2007 16(4): 267-271.
- [16] CAI J, READ P W, BAISDEN J M, et al. Estimation of error in maximal intensity projection-based internal target volume of lung tumors: a simulation and comparison study using dynamic magnetic resonance imaging [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 69(3): 895-902.

(编辑:陈丽霞)