

肺部肿瘤基于最大密度投影图像和四维CT勾画的内靶区差异性分析

宋孟孟¹, 王运来², 黄祥², 鞠忠建², 戴相昆², 吴青南¹

1. 武汉大学物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430072; 2. 中国人民解放军总医院放疗科, 北京 100853

【摘要】目的:基于不同部位的肺部肿瘤患者四维CT(4DCT)图像,比较最大密度投影图像(MIP)与4DCT图像勾画肺部肿瘤的体积和形状差异。**方法:**选择肿瘤分别位于肺部中央、靠近胸壁胸椎、紧邻血管、肝脏与心脏或者淋巴结转移并伴随肺不张患者共12例,在平静呼吸状态扫描得到4DCT图像。MIM软件对4DCT图像进行处理得到MIP图像和平均密度投影图像(AIP)。由同一位医生在4DCT的10个呼吸时相图像依次勾画靶区GTV_{0%}、GTV_{10%}、……GTV_{90%},再合成内靶区(ITV_{4D});同时分别在MIP图像和AIP图像勾画ITV_{MIP}和GTV_{AIP}。读取ITV_{MIP}与ITV_{4D}的体积及质心坐标,计算ITV_{MIP}与ITV_{4D}的相似性系数(Dice)以及豪斯多夫距离(Hausdorff)最大值。**结果:**靶区在肺中央或者靠近胸壁的7位患者,靶区体积比(V_{MIP}/V_{4D})与Dice系数均大于或约等于0.9,两者差值的平均值为0.06。Hausdorff距离最大值、质心位移平均值分别为3.2和0.65 mm。靶区紧邻血管、心脏瓣膜、肝脏或者伴随淋巴结转移及肺不张的5位患者,靶区体积比与Dice系数平均值分别为0.85和0.80,两者差值的平均值为0.13。Hausdorff距离最大值、质心位移平均值分别为9.4和3.0 mm。**结论:**对于边界清晰的肺部肿瘤,MIP图像和4DCT勾画的ITV相近。肿瘤周围有等密度组织时,MIP图像和4DCT图像勾画靶区差异较大。

【关键词】肺部肿瘤;内靶区;4DCT;最大密度投影图像;相似性系数;豪斯多夫距离最大值

【中图分类号】R734.2

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)02-0135-06

Differences of internal target areas delineated from maximum intensity projection image versus four-dimensional computed tomography image of lung tumor

SONG Mengmeng¹, WANG Yunlai², HUANG Xiang², JU Zhongjian², DAI Xiangkun², WU Qingnan¹

1. School of Physics and Technology, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Department of Radiotherapy, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Abstract: Objective To evaluate the differences of the volume and shape of lung tumor delineated from maximum intensity projection (MIP) image and four-dimensional computed tomography (4DCT) image of patients with lung tumors located at different positions. **Methods** Twelve patients with lung tumor were selected, whose tumor located in the central lungs, near the chest wall, close to the thorax, near the blood vessels and heart, and accompanied with lung atelectasis and lymph node metastasis. MIM software was used to process 4DCT images which were acquired by spiral scanning during free breathing for obtaining MIP images and average intensity projection (AIP) images. After being delineated by the same doctor based on the 4DCT images, the gross tumor target areas (GTV_{0%}, GTV_{10%} and GTV_{90%}) were combined as an inner tumor volume (ITV_{4D}). Simultaneously, ITV_{MIP} and GTV_{AIP} were delineated in MIP images and AIP images. The volume and centroid coordinate of ITV_{MIP} and ITV_{4D} were read; the dice coefficient and maximum Hausdorff distance of ITV_{MIP} and ITV_{4D} were also calculated. **Results** Both the dice coefficient and volume ratio between ITV_{MIP} and ITV_{4D} were beyond 0.9, and the average difference was 0.06 for 7 patients whose tumors were in the central lungs or close to the chest wall; the maximum Hausdorff distance and centroid displacement were 3.20 and 0.65 mm, respectively. The dice coefficient and volume ratio between ITV_{MIP} and ITV_{4D} were 0.85 and 0.80, and the average difference was 0.13 for the other 5 patients whose tumors were close to the blood vessels, heart, liver and accompanied with lymph node metastasis and lung atelectasis; the

【收稿日期】2017-12-20

【基金项目】国家重点研发计划(2016YFC0105700)

【作者简介】宋孟孟,硕士研究生,研究方向:数字图像处理,E-mail: songmengmeng1970@163.com

【通信作者】王运来,高级工程师,研究方向:数字图像处理,E-mail: nanyangwang@163.com

maximum Hausdorff distance and centroid displacement were 9.4 and 3.0 mm, respectively. **Conclusion** ITV from MIP images and 4DCT images is similar for distinguishable boundary tumors. Significant volumetric differences exist in the target areas delineated from MIP images and 4DCT images when the tumors are adjoined to tissues with similar densities.

Keywords: lung tumor; internal target area; four-dimensional computed tomography; maximum intensity projection image; dice coefficient; maximum Hausdorff distance

前言

呼吸运动是影响精确放疗的重要因素^[1]。螺旋CT扫描时间短,只能获得某一呼吸时刻的患者影像信息,并不能真实反映肿瘤与危及器官的位置变化。四维CT(4 Dimensional CT, 4DCT)不仅能真实再现肿瘤的形态,而且能反映肿瘤的运动规律,为肺部肿瘤的精确治疗提供依据。传统勾画方法是在4DCT的10个呼吸时相分别勾画大体肿瘤(Gross Tumor Volume, GTV),合成内靶区(Inner Tumor Volume, ITV),这种勾画方法增加了医生的工作量。最大密度投影(Maximum Intensity Projection, MIP)图像是容积数据在视线方向上密度最大的全部像元值的投影图像,显示了肿瘤的最大运动范围。利用MIP图像勾画靶区包含了肿瘤的呼吸运动,同时,节省了勾画时间。但是,不同部位的靶区受周围组织密度的影响,MIP图像勾画靶区可能与4DCT有差异。对肺内不同位置的靶区勾画方式引起的体积和形状差异需要深入研究。本文在MIP图像、平均密度投影(Average Intensity Projection, AIP)图像及4DCT图像勾画靶区,并利用Dice系数、靶区体积比、豪斯多夫(Hausdorff)距离最大值以及靶区质心位移对靶区位置与靶区勾画方式间的关系进行探究。

1 材料与方法

1.1 病例入组

回顾性分析2017年3月~2017年7月12例经平静呼吸状态下扫描的肺癌患者4DCT图像^[2]。男性患者5例,女性患者7例,年龄范围57~90岁(中位年龄68岁)。非小细胞肺癌患者5例,肺鳞癌3例,肺腺癌1例,肺转移3例。肿瘤位于肺部中央3例,靠近胸壁3例,靠近胸椎1例,靠近血管与心脏瓣膜4例,伴随肺不张、淋巴结转移1例。

1.2 4DCT的获取

患者经训练后,在平静呼吸条件下取仰卧体位,双手抱肘靠近头顶,经热塑体膜固定体位。Varian公司RPM(Real-time Position Management)RG1.7.5-CEM-01-A系统版本^[3-5],通过CCD摄像头红外线装置探测并记录位于患者腹部的荧光标记点的运动轨迹,荧

光标记模型一般置于患者上腹部体中线呼吸幅度较大的部位。运动轨迹传输至计算机屏幕显示,待曲线平稳后经西门子公司SOMATOM Definition AS型64排CT,行逐层步进式扫描,扫描速度0.33 s/360°,扫描电压120 kV,时间电流40 mAs。每个床位的扫描时间大于一个呼吸周期。扫描范围从颌下到肝脏下缘。

SOMATOM系统工作站把呼吸波形文件与4DCT资料整合,将每个呼吸波形按时间等分成10个时相,则每张CT都对应了某个床位和某个时相。以10%为呼吸间隔,生成0%~90%共10个呼吸时相的图像。0%CT为吸气末时相图像,50%CT为呼气末时相图像。

1.3 靶区勾画

MIM6.7.6软件集成医学图像的自动勾画、配准及剂量叠加等多种功能。将10个呼吸时相的4DCT图像导入MIM工作站,运行MIM软件的4DCT-Generate Max Mean Min工作流,可自动生成MIP与AIP图像。

分别在10个呼吸时相CT₀, CT₁₀..., CT₉₀图像勾画各自的GTV,由同一位医生在纵隔窗(窗宽400 HU,窗位40 HU)勾画10个呼吸时相的靶区,在肺窗(窗宽1 600 HU,窗位-600 HU)修改使之包括病变周围长度小于5 mm的毛刺,但是不包括血管^[6]。MIM软件中打开10个呼吸时相的CT图像,利用布尔运算工具将相应的GTV并集运算合成内靶区(ITV_{4D}),为了便于运算和比较Dice系数等,将ITV_{4D}保存为与MIP关联的勾画轮廓。最后在MIP和AIP图像上使用相同的方法分别勾画ITV_{MIP}与GTV_{AIP}。

1.4 统计及数据分析

靶区体积相等时,勾画轮廓并不一定完全重合。引入Dice系数、Hausdorff距离以及质心位移等参数能够更好的比较ITV_{MIP}与ITV_{4D}的靶区勾画差异。

1.4.1 Dice系数 Dice系数为靶区A和B重合部分体积与两者平均体积之比:

$$\text{Dice} = \frac{2|A \cap B|}{|A| + |B|} \quad (1)$$

其中, $|A|$ 和 $|B|$ 分别表示两个勾画轮廓的体积。Dice 系数是衡量两个勾画轮廓重叠程度的物理量, Dice 系数的取值范围为 $[0,1]$, Dice 系数为 1, 表示两个轮廓完全重合; Dice 系数为 0, 表示两个勾画轮廓没有交集。

1.4.2 质心位移 ITV_{MIP} 与 ITV_{4D} 质心位移的绝对值:

$$|\nu| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (2)$$

(x_1, y_1) 是 ITV_{MIP} 的质心坐标, (x_2, y_2) 是 ITV_{4D} 的质心坐标。质心位移代表内靶区 ITV_{MIP} 与内靶区 ITV_{4D} 的整体偏离程度。

1.4.3 Hausdorff 距离 Hausdorff 距离最大值 $HD(A, B)$:

$$HD(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (3)$$

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (4)$$

其中 $\| \cdot \|$ 是欧氏距离, a, b 分别代表 A 与 B 边界上的点, $h(A, B)$ 表示了轮廓 A 边缘点与最近轮廓 B 边缘点距离的最大值。同理, $h(B, A)$ 表示了轮廓 B 边缘点与最近轮廓 A 边缘点距离的最大值。Hausdorff 距离最大值是由这两个距离的最大值决定。

Dice 系数可以反映靶区的重叠程度, Hausdorff

距离最大值能够有效的计算 ITV_{MIP} 与 ITV_{4D} 靶区边缘的距离, 质心位移整体上反映 ITV_{MIP} 偏移 ITV_{4D} 的程度。当 V_{MIP}/V_{4D} 与 Dice 系数越接近 Hausdorff 距离最大值, 质心位移越接近 0 时靶区重叠程度越高, 其中 V_{MIP} 代表在 MIP 图像勾画的靶区体积, V_{4D} 代表在 10 个呼吸时相勾画靶区的体积, V_{MIP}/V_{4D} 代表两者的体积比值。

编辑 MIM 软件的 Dice 工作流, 计算勾画轮廓 ITV_{MIP} 与 ITV_{4D} 的 Dice 系数、Hausdorff 距离最大值, 并读取 ITV_{MIP} 与 ITV_{4D} 的体积 (V_{MIP} 和 V_{ITV}) 及质心坐标, 其中, V_{ITV} 为 4DCT 合成的 ITV 体积。

2 结果

2.1 MIP 和 AIP 图像

MIM 软件中分别在 MIP 和 AIP 图像勾画靶区及心脏, 选取第 10 例左肺中叶紧邻动脉的患者, 横断面、矢状面及冠状面的勾画结果见图 1。红色轮廓线为肿瘤, 蓝色轮廓线为心脏。图中可以看出, MIP 图像显示的肿瘤与心脏体积比 AIP 图像的体积大, 主要是呼吸和心脏搏动引起的^[7-11]。

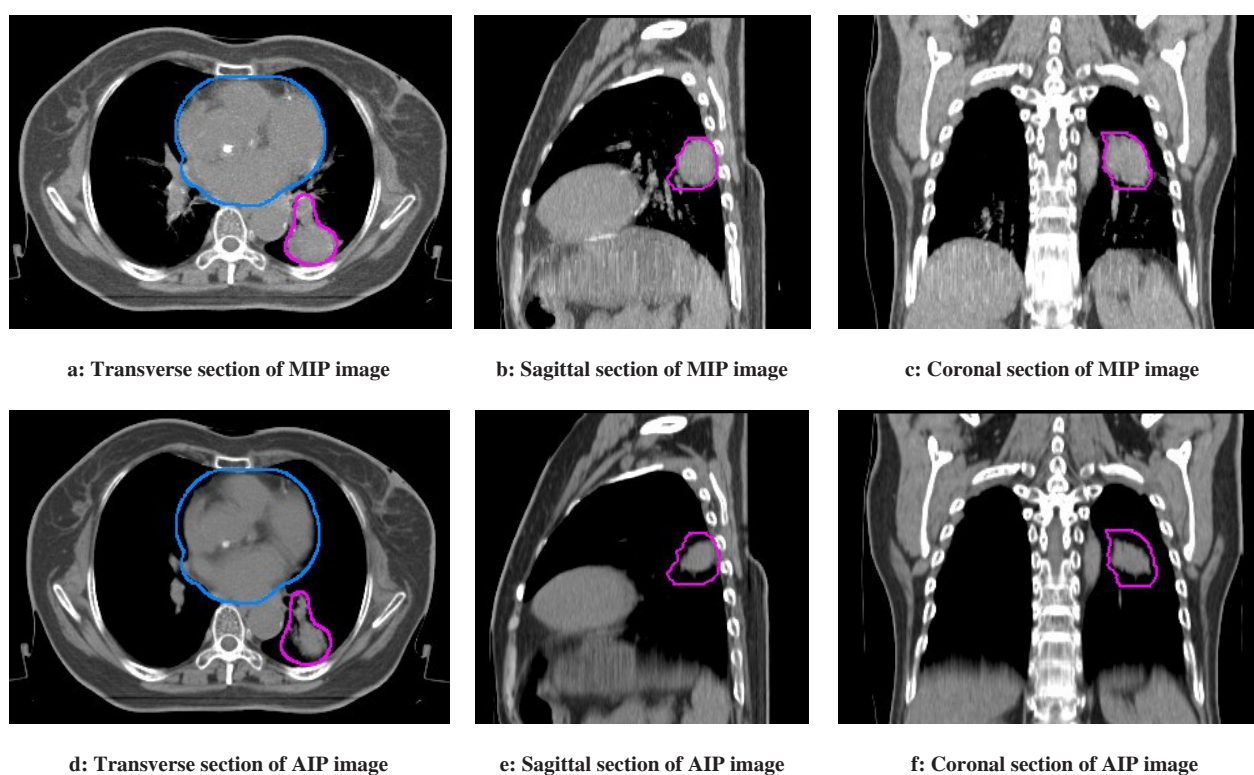


图1 基于4DCT重建的MIP和AIP图像

Fig.1 MIP and AIP images based on 4DCT

MIP: Maximum intensity projection; AIP: Average intensity projection; 4DCT: Four-dimensional computed tomography

2.2 靶区体积及靶区评价

12 例患者的肿瘤位置, 基于 4DCT 图像和 MIP 图

像勾画合成的靶区体积 V_{ITV} 、 V_{MIP} 如表 1 所示。为了便于比较, 表中同时给出基于 AIP 勾画的 V_{AIP} 体积。

其中, V_{AIP} 为 AIP 图像的 GTV 体积。

由于呼吸运动, 心脏搏动的影响, V_{AIP} 一般小于 V_{4D} , 表 1 中 12 例患者的 V_{AIP} 比 V_{MIP} 小或者接近。12 例患者的肺癌靶区体积比 (V_{MIP}/V_{4D})、Dice 系数、Hausdorff 距离最大值、质心位移见表 2, 患者排列顺序与表 1 一致。

由表 2 可以看出, 靶区在肺中央或者靠近胸壁的前 7 例患者的 V_{MIP}/V_{4D} 与 Dice 系数均大于或约等于 0.9, 两者差值的平均值为 0.06。Hausdorff 距离最大值、质心

位移平均值分别为 3.2 和 0.65 mm。主要原因是肿瘤位于肺部中央由肺组织包围或者靠近胸壁但远离心脏与血管, 不受周围组织的影响, MIP 图像和 10 个呼吸时相 4DCT 图像勾画靶区 (ITV) 非常接近。靶区紧邻血管、心脏瓣膜、肝脏或者伴随淋巴结转移及肺不张的后 5 例患者 V_{MIP}/V_{4D} 与 Dice 系数平均值分别为 0.85 和 0.80。两者差值的平均值为 0.13。Hausdorff 距离最大值、质心位移平均值分别为 9.4 和 3.0 mm。第 8、9 例患者的 Dice 系数小于 0.8, 主要是靶区周围有血管。第 10 例患者靶

表 1 患者的靶区位置与勾画的靶区体积 (cm^3)

Tab.1 Tumor locations and delineated volumes (cm^3)

No. of patients	Tumor locations	V_{ITV}	V_{MIP}	V_{AIP}
1	Right middle lobe near chest wall	2.79	2.56	1.37
2	Right upper lobe near chest wall	2.08	2.22	1.47
3	Right lower lobe near the third thoracic vertebra	10.75	10.73	10.36
4	Lower right lung	13.39	12.54	12.80
5	The center of right middle lobe	21.45	22.96	19.71
6	The center of right middle lobe	2.75	2.45	2.05
7	Left middle lobe near the vessels	2.54	2.40	1.83
8	Left middle lobe near the vessels	7.23	4.72	4.23
9	Left middle lobe near the arteries	1.82	1.59	0.92
10	Left middle lobe overlapping the vessels and heart	60.08	50.21	35.69
11	Right Lung near the lower of liver border, lymph nodes with atelectasis	34.32	33.60	25.55
12	Right middle lobe near chest wall	85.43	80.53	39.33

ITV: Inner tumor volume

表 2 ITV 体积比、Dice 系数、Hausdorff 距离最大值 $H(A, B)$ 、质心位移 $|v|$

Tab.2 ITV ratio, Dice coefficient, centroid displacement $|v|$ and the maximum Hausdorff distance $H(A, B)$

No. of patients	V_{MIP}/V_{4D}	Dice coefficient	$H(A, B)/\text{cm}$	$ v /\text{mm}$
1	0.92	0.88	0.44	0.30
2	1.07	0.91	0.19	0.51
3	0.99	1.00	0.15	0.01
4	0.94	0.91	0.45	0.93
5	1.07	0.94	0.44	0.46
6	0.89	0.87	0.24	0.79
7	0.95	0.89	0.34	1.54
8	0.65	0.79	0.45	0.62
9	0.87	0.76	0.41	2.32
10	0.83	0.90	0.80	2.17
11	0.98	0.83	1.00	3.55
12	0.94	0.75	2.03	6.03

区一侧紧邻动脉,另一侧与胸壁贴合,虽然Dice系数为0.9,但是Hausdorff距离最大值0.8 cm,质心位移大于2 mm。第11例患者靶区位于肺部中叶,靶区一侧与血管交叠,另一侧紧邻心脏瓣膜;第12例患者靶区接近肝脏上缘,伴随肺不张,在单个时相CT图像勾画靶区也存在不确定因素。虽然第11、12例患者靶区体积比接近1,但是Dice系数小于0.9, Hausdorff距离最大值分别为1和2 cm。质心位移分别为3.55和6.03 mm,靶区边缘有较大的差异,并且ITV_{MIP}相对于ITV_{4D}靶区整体有偏移。肿瘤周围有相似密度的组织时,靶区确定相对复杂,需要结合PET/CT综合判断。

3 讨论

精确的靶区勾画是肿瘤精确放射治疗的前提基础。位于肺部不同位置的肿瘤运动幅度不同,从肺尖到肺底运动幅度逐渐增大。肺门肿瘤的运动呈非线性,同一解剖部位的肿瘤,不同患者运动幅度也完全不同^[12]。传统的靶区勾画方式是在普通螺旋CT定位图像勾画GTV,均匀外扩7 mm形成CTV。CTV左右、前后方向外扩5 mm,病灶头脚方向位于肺上叶者外扩1 cm,位于肺下叶者外扩1.5 cm,形成PTV。鞠潇等^[13]选择10例肺癌患者比较4DCT技术与传统勾画方式的治疗计划差异,结果显示10例患者中,8例患者PTV_{4D}较PTV_{conv}减小(13.0±8.0)%($P=0.018$);2例患者PTV_{4D}>PTV_{conv}。Plan_{4D}的双肺V₅、V₁₀、V₁₅、V₂₀分别较Plan_{conv}减少(7.2±10.5)%、(5.5±8.9)%、(6.5±8.4)%和(5.7±7.4)%(均有 $P<0.05$)。应用4DCT定义靶区及制定治疗计划可以实现个体化的PTV勾画,提高靶区内剂量,减少正常组织受量,同时避免靶区遗漏。

基于最大密度投影的MIP图像能够包含肿瘤的呼吸运动,方便肺部运动靶区的勾画。王刚等^[14]认为MIP图像与参考图像靶区较为相似,可以用来勾画靶区。Underberg等^[15]研究肺内孤立性结节在MIP图像勾画的ITV与4DCT技术重建的10个相位图像勾画的ITV有很好的重合。本文的结果显示,对于靠近肺部中央或者接近胸壁的靶区在体积较小的情况下,ITV_{4D}与ITV_{MIP}即使重合较好,也会出现靶区体积比与Dice系数偏低的情况。对于靶区紧邻血管、心脏瓣膜、肝脏、淋巴结的研究报道不多,而且多数研究仅使用体积比及质心位移表征靶区的重合度。对于复杂的靶区,体积比计算结果可能与观察到的靶区重合度不符。何瀚等^[16]选择20例肺癌患者分为A、B两组,A组病灶周围环绕正常低密度肺泡组织,B组紧邻等密度或高密度组织。分别在10个时相、3个时相、MIP勾画靶区。结果A组10个呼吸时相勾

画靶区与MIP靶区有很好的重合;B组GTV_{MIP}与GTV_{4D}有较大的差异。吸气末、呼气末以及呼吸中间3个时相勾画的靶区GTV₃在多数情况下可以使用。何瀚等^[16]研究中3例肺不张患者GTV_{4D}与GTV_{MIP}比值分别为1.05、1.14、1.06,分析结果两者勾画相似。而本文中肺不张患者的ITV_{4D}与ITV_{MIP}体积比为1.06(85.43/80.53),但是Dice系数仅为0.75, Hausdorff最大值为2 cm,质心位移6 mm,说明肺不张患者的靶区重合性较差。需要结合多模态图像区分靶区和周围的组织。

4DCT对于确定靶区的运动范围有优势,但是也增加了病人所受的辐射剂量,扫描时间增长。个别患者呼吸节律不规整,4DCT图像重建伪影较大,影响靶区勾画以及治疗计划剂量计算^[17-18]。靶区勾画比较困难的肿瘤,需要借助PET/CT。PET/CT在伴有肺不张和阻塞性肺炎时可明显减小GTV,可更好地保护周围正常肺组织,检测纵隔淋巴结敏感性较CT高,可避免靶区遗漏^[19-20]。

综上所述,对于靶区在肺部中央或者接近胸壁组织边缘清晰的病灶,能够利用MIP图像代替10个呼吸时相图像勾画靶区。对于靶区接近血管、心脏瓣膜或者伴随肺不张的靶区,不能利用MIP图像勾画靶区轮廓。在评价靶区相似度时,相似度系数、Hausdorff距离、质心位移可以作为靶区体积比的补充,对靶区的描绘更加准确。

【参考文献】

- [1] 黄伟,李宝生,于金明.精确放疗中呼吸运动对肺部肿瘤靶区的影响与控制[J].国外医学:肿瘤学分册,2005,32(1):53-56.
HUANG W, LI B S, YU J M. Effects and mechanisms of respiratory exercise in excessive radiotherapy on lung cancer target[J]. Foreign Medical Sciences (Cancer Section), 2005, 32(1): 53-56.
- [2] SHIRATO H, SHIMIZU S, KITAMURA K, et al. Organ motion in image-guided radiotherapy: lessons from real-time tumor-tracking radiotherapy[J]. Int J Clin Oncol, 2007, 12(1): 8.
- [3] 时飞跃,陈飞,林强,等.四维CT技术在放疗中的应用[J].医疗卫生装备,2014,35(7):114-115.
SHI F Y, CHEN F, LIN Q, et al. Application of 4D-CT technique in radiotherapy[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2014, 35(7): 114-115.
- [4] JIANG S B. Technical aspects of image-guided respiration-gated radiation therapy[J]. Med Dosim, 2006, 31(2): 141.
- [5] MAHESH M, DETORIE N, FORD E C. Technical aspects of respiration-correlated 4DCT for radiation therapy[J]. J Am Coll Radiol, 2007, 4(3): 192-194.
- [6] WU J, BETZING C, SRISUTHEP A, et al. Tumor volume delineation: a comparison of imaging protocols for lung tumors[J]. Med Phys, 2009, 36(6): 2517.
- [7] KHAMFONGKHUEA C, THONGSAWAD S, TANNANONTA C, et al. Comparison of CT images with average intensity projection, free breathing, and mid-ventilation for dose calculation in lung cancer[J].

- J Appl Clin Med Phys, 2017, 18(2): 26-36.
- [8] CHIN E, LOEWEN S K, NICHOL A, et al. 4D VMAT, gated VMAT, and 3D VMAT for stereotactic body radiation therapy in lung[J]. Phys Med Biol, 2013, 58(4): 749-770.
- [9] TIAN Y, WANG Z, GE H, et al. Dosimetric comparison of treatment plans based on free breathing, maximum, and average intensity projection CTs for lung cancer SBRT[J]. Med Phys, 2012, 39(5): 2754-2760.
- [10] WÖLFELSCHNEIDER J, SEREGNI M, FASSI A, et al. Examination of a deformable motion model for respiratory movements and 4D dose calculations using different driving surrogates[J]. Med Phys, 2017, 44(6): 2066-2077.
- [11] OHIRA S, UEDA Y, HASHIMOTO M, et al. VMAT-SBRT planning based on an average intensity projection for lung tumors located in close proximity to the diaphragm: a phantom and clinical validity study[J]. J Radiat Res, 2016, 57(1): 91-97.
- [12] SHIRATO H, SEPPENWOOLDE Y, et al. Intrafractional tumor motion: lung and liver[J]. Semin Radiat Oncol, 2004, 14(1): 10-18.
- [13] 鞠潇, 李明辉, 周宗玫, 等. 肺癌放疗中四维CT技术与传统方法勾画靶区计划比较[J]. 中华肿瘤杂志, 2014, 36(1): 34-38.
- JU X, LI M H, ZHOU Z M, et al. 4DCT-based plan target volume (PTV) definition compared with conventional PTV definition using general margin in radiotherapy for lung cancer[J]. Chinese Journal of Oncology, 2014, 36(1): 34-38.
- [14] 王刚, 张宗春, 王惠, 等. 四维CT定位技术在早期肺癌靶区勾画中的应用研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2017, 24(14): 1003-1007.
- WANG G, ZHANG Z C, WANG H, et al. Target determined with four-dimensional computed tomography in early stage lung cancer[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2017, 24(14): 1003-1007.
- [15] UNDERBERG R W M, LAGERWAARD F J, SLOTMAN B J, et al. Use of maximum intensity projections (MIP) for target volume generation in 4DCT scans for lung cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 63(1): 253-260.
- [16] 何瀚, 包勇, 张黎, 等. 四维CT和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]. China Cancer, 2007, 16(4): 267-271.
- [17] 戚焕鹏, 李建彬, 张英杰, 等. 基于主动呼吸控制辅助3DCT与4DCT扫描确定周围型肺癌内大体肿瘤体积比对研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2013, 33(2): 142-145.
- QI H P, LI J B, ZHANG Y J, et al. Comparison of internal gross tumor volume for peripheral lung cancer based on four dimensional CT or three dimensional CT assisted with active breathing control[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2013, 33(2): 142-145.
- [18] 舒留洋, 陆合明, 陈华生, 等. 四维CT联合呼吸门控技术在非小细胞肺癌放疗中的剂量学研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(2): 97-98.
- SHU L Y, LU H M, CHEN H S, et al. Dosimetric study of four-dimensional CT combined with respiratory gating in radiotherapy in non-small cell lung cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(2): 97-98.
- [19] 巩合义, 于金明, 付政, 等. PET/CT对非小细胞肺癌临床分期及精确放疗计划的影响[J]. 中华肿瘤杂志, 2006, 28(1): 54-57.
- GONG H Y, YU J M, FU Z, et al. Impact of PET/CT on precise radiotherapy planning for non-small cell lung cancer[J]. Chinese Journal of Oncology, 2006, 28(1): 54-57.
- [20] 邢晓波, 周宓. PET-CT在非小细胞肺癌精确放疗治疗中的应用[J]. 现代医学, 2011, 39(3): 378-381.
- XING X B, ZHOU M. The application of PET-CT on non-small cell lung cancer precise and accurate radiotherapy[J]. Modern Medical Journal, 2011, 39(3): 378-381.

(编辑:薛泽玲)