

论 著

D-CBCT在肺癌容积旋转调强计划精准治疗中的临床应用*

成 俊 徐雪峰 李 伟*
南通市第三人民医院放射治疗科
(江苏 南通 226001)

【摘要】目的 探讨锥形束CT(D-CBCT)在肺癌容积旋转调强(VMAT)计划精准治疗中的临床应用。方法 选取2019年10月~2022年10月在南通市第三人民医院放射治疗科就诊的100例肺癌患者。根据CBCT扫描模式不同,分为4D组($n=57$)和3D组($n=43$)。比较两组患者放疗摆位误差、内靶区(ITV)体积、靶区剂量、心脏受照剂量和肿瘤控制效果。**结果** 在校正前后和治疗后,两组各摆位误差绝对值无统计学差异($P>0.05$);4D组患者中下叶肿瘤ITV体积低于3D组($P<0.05$);4D组的最大剂量(D_{max})、最小剂量(D_{min})和平均剂量(D_{mean})靶区剂量均高于3D组($P<0.05$);4D组的V10、V20、V30及平均受量(D_{mean})等心脏受照剂量均低于3D组($P<0.05$);4D组和3D组患者的客观有效率无明显差异($P>0.05$)。**结论** 可将D-CBCT应用于肺癌容积旋转调强计划精准治疗中,尤其采用4D-CBCT可更好提供靶区剂量,减少肺癌患者的中下叶肿瘤ITV体积和心脏受照剂量。

【关键词】 锥形束CT; 肺癌; 容积旋转调强
【中图分类号】 R734.2
【文献标识码】 A
【基金项目】 江苏省卫生计生委科研课题
(H2017057)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.04.012

Clinical Application of D-CBCT in Precise Treatment of Lung Cancer by Volumetric Modulated Arc Therapy Program*

CHENG Jun, XU Xue-feng, LI Wei*.

Department of Radiotherapy, Nantong Third People's Hospital, Nantong 226001, Jiangsu Province, China

ABSTRACT

Objective The aim of this study was to investigate the clinical application of cone-beam CT (D-CBCT) in the precise treatment of lung cancer by volumetric modulated arc therapy (VMAT) program. **Methods** A total of 100 patients with lung cancer treated in Radiotherapy Department of Nantong Third People's Hospital were enrolled and divided into 4D group ($n=57$) and 3D group ($n=43$) according to CBCT scan modes between October 2019 and October 2022. The radiotherapy setup errors, internal target volume (ITV) volume, target dose, cardiac exposure dose and tumor control effect in the two groups were compared. **Results** Before and after correction and after treatment, the difference in absolute values of setup errors between the two groups was not statistically significant ($P>0.05$). ITV volume of middle and inferior lobe tumors in 4D group was smaller than that in 3D group ($P<0.05$), maximum dose (D_{max}), minimum dose (D_{min}) and mean dose (D_{mean}) were higher than those in 3D group ($P<0.05$), V10, V20, V30 and mean exposure dose (D_{mean}) were lower than those in 3D group ($P<0.05$). There was no significant difference in objective response rate between the two groups ($P>0.05$). **Conclusion** The application of D-CBCT, especially 4D-CBCT, in precise treatment of lung cancer by VMAT program can better provide target dose, reduce ITV volume of middle and inferior lobes and cardiac exposure dose.

Keywords: Cone-beam CT; Lung Cancer; Volumetric Modulated Arc Therapy

肺癌是我国常见且病死率较高的恶性肿瘤疾病,目前临床常采用CT等影像学检查进行诊疗^[1]。近年来,有研究指出^[2-3],容积旋转调强(VMAT)已经在多种肿瘤放疗中已广泛应用,VMAT可在照射剂量分布和静态调强基本一致的情况下缩短肿瘤患者治疗时间,利用准确勾画靶区及进行相关修正和匹配的优势,在一定程度上可加快对肿瘤患者的干预时间,降低患者发生周围脏器损伤的发生率。锥形束CT(CBCT)可通过提供治疗区域的容积相关信息^[4-5],但常规3D-CBCT往往存在患者呼吸和消化道等因素造成图像伪影的不足,甚至可对邻近正常组织器官造成一定的损伤。而4D-CBCT可在改善图像伪影的情况下,进一步降低对心脏及其邻近器官的受照剂量。基于此,本研究旨在探讨D-CBCT在肺癌容积旋转调强计划精准治疗中的临床应用,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2019年10月至2022年10月在本院确诊的100例肺癌患者。

纳入标准:经病理学检验诊断为肺癌;均接受VMAT放射治疗,且在首次放疗前接受CBCT扫描;TNM分期为0-II级。排除标准:心肺功能异常;卡诺夫斯基的功能状态评分 <70 分;合并其他器质性病变;不可正确描述自我感受者。

根据CBCT扫描模式分为4D组($n=57$)和3D组($n=43$)。4D组男36例,女21例;年龄30~60岁,平均(51.35 ± 4.36)岁;肿瘤位置:上叶24例、中下叶33例。3D组男28例,女15例;年龄30~60岁,平均(50.86 ± 4.21)岁;肿瘤位置:上叶23例、中下叶20例。两组性别、年龄和肿瘤位置均无显著差异($P>0.05$)。

1.2 研究方法 嘱患者取仰卧位后上举双臂,可通过深呼吸放松全身,扫描全程均保持平稳呼吸。采用荷兰皇家飞利浦电子公司生产的飞利浦Brilliance CT,扫描范围:甲状软骨上缘至肋膈角;扫描条件:层厚、间距5mm,分辨率 512×512 。扫描后将数据导入工作站进行重建。由科内2名副主任医师进行肿瘤靶区(GTV)、临床靶区(CTV)和计划靶区(PTV)的勾画工作。在3D模式下,将GTV边界向外扩展7mm得到CTV图像,并在CTV边界向外扩展5mm得到PTV图像。

3D组患者经3D-CBCT扫描;4D组进行工作站整合呼吸运动信息,经4D-CBCT扫描,扫描完成后经图像上传至系统,修正靶区,制定每位患者的放疗计划[处方剂量2.15Gy/次,1次/d,共治疗28d(95%达到60.2Gy)]。4D组和3D组患者均在3D摆位误差 <2 mm的情况下实施放射治疗,治疗完成后再次进行CBCT扫描,获得相应的摆位误差。

1.3 观察指标

1.3.1 摆位误差 在校正前后和治疗后,分别记录两组平移误差(X、Y、Z轴)、旋转误差(Rx、Ry、Rz方向)。

1.3.2 内靶区(ITV)体积 分别记录两组在3D方向上向外扩展7mm,获得ITV4D、ITV3D数值。

1.3.3 靶区剂量 分别记录两组PTV的最小剂量(D_{min})、最大剂量(D_{max})以及平均剂量(D_{mean})。

1.3.4 心脏受照剂量 分别记录两组占总体积的百分比(V10、V20、V30),计算平均受量(D_{mean})。

【第一作者】 成 俊,男,副主任技师,主要研究方向:放射治疗科。E-mail: cj13921481008@126.com

【通讯作者】 李 伟,男,主任医师,主要研究方向:放射治疗。E-mail: nt.liwei@163.com

1.3.5 肿瘤控制效果 采用实体瘤反应评价标准(RECIST), 评估两组肿瘤控制效果。RECIST划分标准如下: 完全缓解: 经CBCT检测, 肺部无明显阴影, 原病灶消失; 部分缓解: 经CBCT检测, 肺部可见原发病灶, 该直径减少>30%; 稳定: 经CBCT检测, 肺部原发病灶直径和边界均无明显变化; 进展: 经CBCT检测, 肺部原发病灶直径增加>20%和(或)肺部发现新病灶。有效率=(完全+部分)例数/总人数×100%。

1.4 统计学处理 采用SPSS 22.0统计学软件对本研究中纳入的肺癌患者数据资料进行分析整理, 计量资料采用均数±标准差表示, 计数资料用率表示, 采用t、 χ^2 检验, 等级资料采用秩和检验, $\alpha=0.05$ 提示有统计学意义。

2 结 果

2.1 4D-CBCT临床图像 患者男, 52岁, TNM分期 I 期, 4D-CBCT显示左肺上叶可见一实质肿块, 形态欠规则, 肺结节边

缘呈短毛刺伴有胸膜牵拉, 增强后呈轻中度强化, 见图1A-图1C。

患者女, 54岁, TNM分期 II 期, 4D-CBCT显示右肺上叶可见一实质肿块, 形态欠规则、浅分叶, 临近胸膜牵拉, 外部呈轻中度不均匀强化, 见图2A-图2C。

2.2 4D组和3D组摆位误差比较 在校正前后和治疗后, 两组各摆位误差绝对值无统计学差异($P>0.05$), 见表1。

2.3 4D组和3D组患者ITV体积比较 两组上叶肿瘤ITV体积无统计学差异($P>0.05$), 4D组患者中下叶肿瘤ITV体积低于3D组($P<0.05$)。见表2。

2.4 4D组和3D组靶区剂量比较 4D组的 D_{max} 、 D_{min} 、 D_{mean} 靶区剂量均高于3D组($P<0.05$)。见表3。

2.5 4D组和3D组心脏受照剂量比较 4D组的V10、V20、V30及 D_{mean} 等心脏受照剂量均低于3D组($P<0.05$)。见表4。

2.6 4D组和3D组患者肿瘤控制效果比较 4D组和3D组患者的客观有效率无明显差异($P>0.05$), 见表5。

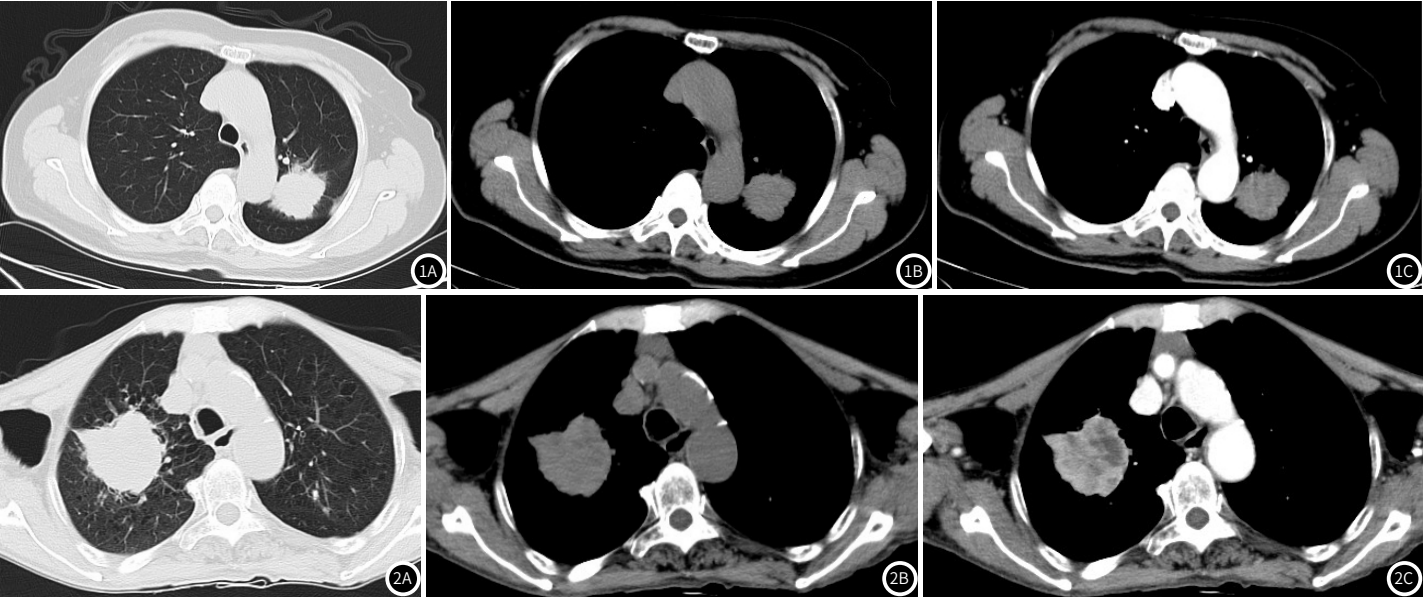


图1A-图1C 左肺上叶实质肿块, 形态欠规则、浅分叶, 边缘短毛刺伴胸膜牵拉, 增强后呈轻中度强化。
图2A-图2C 右肺上叶实质肿块, 形态欠规则、浅分叶, 临近胸膜牵拉, 增强后呈轻中度不均匀强化, 内见无强化坏死区。

表1 4D组和3D组摆位误差比较(n, mm)

组别	例数	X轴			Y轴			Z轴		
		校正前	校正后	治疗后	校正前	校正后	治疗后	校正前	校正后	治疗后
4D组	57	2.08±0.23	1.07±0.23	0.89±0.18	2.67±0.24	1.45±0.32	0.96±0.19	2.56±0.64	1.37±0.32	0.87±0.17
3D组	43	2.11±0.25	1.05±0.22	0.91±0.19	2.74±0.25	1.53±0.34	1.02±0.20	2.49±0.57	1.46±0.33	0.93±0.18
Z		0.622	0.491	0.537	1.418	1.205	1.528	0.567	1.374	1.704
P		0.535	0.625	0.592	0.159	0.231	0.130	0.572	0.173	0.092

表2 4D组和3D组患者ITV体积比较(n)

位置	组别	例数	ITV体积	t	P
上叶	4D组	36	102.41±15.42	0.286	0.776
	3D组	24	103.58±15.74		
中下叶	4D组	21	159.64±17.54	4.427	<0.001
	3D组	19	184.61±18.11		

表3 4D组和3D组靶区剂量比较(n)

组别	例数	D_{max}	D_{min}	D_{mean}
4D组	57	61.45±1.52	40.67±1.48	56.68±1.51
3D组	43	60.12±1.47	39.14±1.46	54.72±1.49
t		4.393	5.148	6.463
P		<0.001	<0.001	<0.001

表4 4D组和3D组心脏受照剂量比较(n)

组别	例数	受照剂量比例(%)			Dmean(Gy)
		V10	V20	V30	
4D组	57	7.45±1.32	5.30±1.22	2.67±0.35	5.54±1.25
3D组	43	8.08±1.36	5.81±1.28	2.91±0.37	6.12±1.28
t		2.332	2.026	3.312	2.274
P		0.022	0.046	<0.001	0.025

表5 4D组和3D组患者肿瘤控制效果比较(n, %)

组别	例数	RECIST				客观有效率
		完全缓解	部分缓解	稳定	进展	
4D组	57	17(29.82)	33(57.89)	6(10.53)	1(1.75)	50(87.72)
3D组	43	11(25.58)	22(51.16)	8(18.60)	2(4.65)	33(76.74)
t						2.092
P						0.148

3 讨 论

目前,临床上采用常规CT扫描肺癌患者时往往是考虑了空间因素^[6-8],对于时间因素有所欠缺。D-CBCT是在获得患者扫描投影数据后^[9-10],通过常规CT扫描数据对其拆分并进行重建,从而形成3D-CBCT;在3D-CBCT的基础上减小内靶区勾画体积,从而形成4D-CBCT。3D-CBCT已成为肺癌患者的主要图像引导手段,但在扫描期间,对患者的上腹部区域会因呼吸诱导出现运动伪影,4D-CBCT则可利用其摆位误差进行实时校正,从而减少摆位误差。

在本研究中,4D组和3D组患者上叶肿瘤ITV体积无明显差异,4D组患者中下叶肿瘤ITV体积低于3D组。D-CBCT可消除患者在扫描期间因呼吸运动所引起的运动伪影,但3D-CBCT采集的图像为静态,在一定程度上会影响患者的CBCT图像;4D-CBCT可获得更为充分的运动信息,在一定程度上可较好的缩小患者靶区勾画范围,临床可参考勾画范围为肺癌患者提供更贴切患者病情的放疗方案。有研究指出^[11],肺癌患者的中下叶肿瘤可采用4D-CT进行勾画,且可较好利用4D-CT的实时容积相关信息进行靶区验证。该结论与研究结果部分相似,说明采用4D-CBCT可更好检测肺癌患者的中下叶肿瘤。

在本研究中,4D组的D_{max}、D_{min}、D_{mean}靶区剂量均高于3D组,V10、V20、V30及D_{mean}等心脏受照剂量均低于3D组。分析本研究结果,首先,因本研究是单次扫描获得的4D和3D图像,在一定程度上减少了患者的受照剂量。3D-CBCT具有扫描时间短和成像速度快的特点,虽在一定程度上可减少患者辐射剂量,但图像质量与4D-CBCT相比欠缺。4D-CBCT可在3D-CBCT原始数据的基础上,实时评估患者肺部病灶的直径、边界和运动幅度,尤其是当肿瘤靶区在靠近胸部或纵膈时,可更好避免因患者呼吸运动所产生的伪影干扰;其次,3D-CBCT成像后,4D-CBCT可在其基础上引进相关时间元素^[12],从而减少对肺癌患者的辐射等危害。最后,4D-CBCT可测量和修正摆位误差的同时提供患者肺部肿瘤的位置和运动轨迹,对于体积小和运动幅度大的肺部肿瘤具有更好优势。袁星星等研究显示^[13],4D-CBCT图像验证不仅可保证肺部肿瘤靶区剂量的稳定性,从而为肺癌患者提供更贴切患者病情的放疗方案,而且在一定程度上可降低对心脏等邻近器官的受照剂量。该研究结果与本研究结果部分相似,说明4D-CBCT可更好提供肿瘤靶区的勾画和运动轨迹验证的同时,提高靶区剂量和减少心脏受照剂量。

综上所述,可将D-CBCT应用于肺癌容积旋转调强计划精准治疗中,尤其采用4D-CBCT可更好提供靶区剂量,减少肺癌患者的中下叶肿瘤ITV体积和心脏受照剂量。

参考文献

[1] 陆志前,王成林,龙飞翔,等.多层螺旋CT重建在早期肺癌检查中的应用[J].中国CT和MRI杂志,2022,20(5):83-85.

[2] 雷怀宇,张书旭,李慧君,等.调强放疗与容积旋转调强放疗在非小细胞肺癌肿瘤体积差异患者中的应用比较[J].广东医学,2022,43(4):397-402.

[3] 张利,倪千喜,余功奕.基于KV-CBCT影像引导下非小细胞肺癌调强放疗的摆位误差分析[J].中国医疗设备,2022,37(7):59-63.

[4] 周玖娟,李桂英,陈雨娜.三维和四维锥形束CT在肝癌立体定向放疗中的靶区定位[J].基因组学与应用生物学,2020,39(9):4333-4338.

[5] Jiang Z,Zhang Z,Chang Y,et al.Enhancement of 4-D cone-beam computed tomography (4D-CBCT) using a dual-encoder convolutional neural network (DeCNN)[J].IEEE Transactions on Radiation and Plasma Medical Sciences,2022,6(2):222-230.

[6] 石海,赵琳,李兴杰.西门子双源CT双能量扫描对肺癌鉴别诊断及预后评估的价值观察[J].中国CT和MRI杂志,2022,20(9):63-64.

[7] 杨连军,王小刚,杨茂生,等.多层螺旋CT联合MRI在原发性肺癌患者中的诊断效果及临床治疗指导价值研究[J].中国CT和MRI杂志,2022(7):58-60.

[8] 詹娜,徐威,曾智,等.血清自身抗体联合低剂量螺旋CT在肺癌早期筛查中的价值[J].肿瘤防治研究,2022,49(9):908-912.

[9] 柴林燕,高莹,张晓智,等.4D-CBCT在肺癌容积旋转调强计划精准治疗中的临床应用[J].中国CT和MRI杂志,2022,20(4):65-68.

[10] 刘首鹏,廖雄飞,黎杰,等.基于4D-CT和4D-CBCT扫描研究呼吸运动对模体成像体积的影响[J].肿瘤预防与治疗,2021,34(1):53-58.

[11] Sarkar B,Ganesh T,Munshi A,et al.Rotational positional error-corrected linear set-up margin calculation technique for lung stereotactic body radiotherapy in a dual imaging environment of 4-D cone beam CT and ExacTrac stereoscopic imaging[J].Radiol Med,2021,126(7):979-988.

[12] 陈杰,王克强,简建波,等.基于深度学习多模态风格迁移技术CBCT图像肺癌靶区自动分割方法研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2022,31(1):43-48.

[13] 袁星星,黄玉玲,潘纯国,等.肺癌放疗中CBCT不同配准方式的误差分析[J].实用癌症杂志,2022,37(12):2001-2003.

(收稿日期: 2023-04-26)
(校对编辑: 姚丽娜)