

锥形束CT对非小细胞肺癌放疗摆位误差及放疗射线剂量的影响

朱晟超^{1,2}, 王远军¹

1.上海理工大学,上海 200000;2.昆山第一人民医院,江苏 昆山 215300

【摘要】目的:探讨锥形束CT(CBCT)引导对非小细胞肺癌(NCSLC)放疗摆位误差和靶区组织射线受量的影响。**方法:**选取NCSLC患者30例作为研究对象,对其行239次CBCT图像采集。放疗前行CBCT扫描,将CBCT图像与计划CT图像匹配,获得左右(x轴)、头脚(y轴)、前后(z轴)方向的线性误差,分析误差及其分布规律,将所得误差输入CMS治疗计划系统中模拟实际照射,得出实际照射中靶区及正常组织受量,通过和治疗前计划相比,研究误差对胸部肿瘤放疗剂量分布的影响。**结果:**x轴误差为 (-0.40 ± 2.81) mm,y轴误差为 (1.40 ± 5.18) mm,z轴误差为 (-0.80 ± 2.15) mm。x轴摆位误差 ≤ 3 mm为203次(86.01%),y轴摆位误差 ≤ 3 mm为121次(51.27%),z轴摆位误差 ≤ 3 mm为210次(88.98%),均显著高于其他误差区间($P<0.05$)。首次CBCT扫描x、y和z轴误差均值均低于其它各次x、y和z轴扫描,差异无统计学意义($P>0.05$);x、y和z轴的首次CBCT扫描误差和其它各次扫描误差差异具有统计学意义($P<0.05$)。模拟未移床时肺 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 和脊髓 D_{max} 及心脏 D_{mean} 分别为原计划 $(102.6\pm 6.5)\%$ 、 $(103.2\pm 8.5)\%$ 、 $(105.3\pm 15.1)\%$ 、 $(110.6\pm 40.0)\%$ 、 $(98.1\pm 6.8)\%$ 、 $(92.4\pm 5.5)\%$,计划靶体积(PTV) D_{95} 为原计划的 $(88.1\pm 10.3)\%$,大体肿瘤体积 D_{95} 为原计划的 $(98.8\pm 5.2)\%$,其中PTV D_{95} 和原计划差异比较具有统计学意义($P<0.05$);PTV D_{95} 摆位误差 >5 mm组和计划相比差异有统计学意义($P<0.01$)。**结论:**CBCT可有效纠正接受放疗患者摆位误差,降低靶区和正常组织射线受量,值得临床推广。

【关键词】非小细胞肺癌;锥形束CT;摆位误差;剂量学;放射疗法

【中图分类号】R734.2

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)02-0109-06

Effect of cone beam CT on setup error and radiation dose distribution in radiotherapy for non-small cell lung cancer

ZHU Shengchao^{1,2}, WANG Yuanjun¹

1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200000, China; 2. Kunshan First People's Hospital, Kunshan 215300, China

Abstract: Objective To investigate the effect of cone beam CT (CBCT) guidance on setup error and radiation dose of the target tissue in radiotherapy for non-small cell lung cancer (NCSLC). **Methods** A total of 239 CBCT image acquisitions were analyzed in 30 patients undergoing intensity-modulated radiotherapy (IMRT). Before radiotherapy, CBCT scan was performed and the CBCT images were matched with the planning CT images to obtain the linear errors in the left-right (x axis), superior-inferior (y axis), and anterior-posterior (z axis) directions. The errors and their distribution patterns were analyzed. The actual radiation doses in the target areas and in the normal tissue were estimated by inputting the errors into CMS treatment planning system for simulating the actual radiation. The effects of the errors in radiation dose distribution in IMRT for chest tumors were assessed by comparing with the errors in the simulation and original plan. **Results** In the 293 CBCT image acquisitions, the mean errors in the x, y, z directions were (-0.40 ± 2.81) , (1.40 ± 5.18) and (-0.80 ± 2.15) mm, and the numbers of setup errors ≤ 3 mm in the 3 directions were 203 (86.01%), 121 (51.27%), and 210 (88.98%), respectively. The incidence of setup errors ≤ 3 mm was significantly higher than that of other error intervals ($P<0.05$). The mean errors in the x, y, z directions were lower in the first CBCT scan than in other scans (the difference was not statistically significant, $P>0.05$), however, the errors in

【收稿日期】2016-09-23

【基金项目】国家自然科学基金(61201067)

【作者简介】朱晟超,技师,主要研究方向:放射治疗,E-mail: 196065888@qq.com

【通信作者】王远军,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向:医学影像工程,E-mail: yjusst@126.com

the first CBCT scan and in other scans had statistical significances ($P<0.05$). In the simulation test without shifting the bed, V_{10} , V_{20} , and V_{30} of the lung, maximum dose of the spinal cord, and mean dose of the heart were $(102.6\pm6.5)\%$, $(103.2\pm8.5)\%$, $(105.3\pm15.1)\%$, $(110.6\pm40.0)\%$, $(98.1\pm6.8)\%$ and $(92.4\pm5.5)\%$ of the original plan, respectively. The D_{95} of planning target volume (PTV) was $(88.1\pm10.3)\%$ of the original plan ($P<0.05$), and PTV D_{95} with a setup error >5 mm showed a significance difference from the plan ($P<0.01$); the D_{95} of gross target volume was $(98.8\pm5.2)\%$ of the original plan. **Conclusion** CBCT can effectively correct the setup error of the patients receiving radiotherapy to reduce the radiation dose of the target area and normal tissues.

Keywords: non-small cell lung cancer; cone beam CT; setup error; dosimetry; radiotherapy

前言

由于多数非小细胞肺癌(Non-Small Cell Lung Cancer, NSCLC)患者无法耐受肿瘤切除手术及药物治疗效果较差,故不得不辅以射线放疗^[1]。射线可对机体产生较大损伤,诱发多种并发症,而通过优化摆位误差可降低放疗射线剂量,改善 NSCLC 等癌症患者预后。锥形束 CT(Cone Beam CT, CBCT)作为一种新型非晶硅数字化 X 射线成像设备,设备体积小、重量轻、架构开放,能够和直线加速器完美整合,快速通过机架旋转获得完整体积范围内的 CT 图像,且经计算机重建得到三维图像和治疗计划三维影像具有高匹配性,能准确评估摆位误差^[2]。其平板探测器读数空间分辨率较高,可准确区分检查靶区软组织结构,实现对肿瘤图像高精度引导放疗,而 CBCT 射线具有利用率高,可显著降低射线剂量,具有较高在线校准摆位误差的功能^[3]。但关于其引导下 NSCLC 放疗摆位误差对放疗射线剂量影响的研究,相关文献较少。本文旨在探讨 CBCT 引导对 NSCLC 放疗摆位误差和靶区组织射线受量的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取昆山第一人民医院于 2015 年 6 月~2016 年 6 月收治的 NSCLC 患者 30 例作为研究对象,纳入标准^[4]: ①病理学诊断证实为 NSCLC; ②均为首程放疗; ③卡氏(KPS)功能状态评分 >70 分。排除标准^[5]: ①有既往肿瘤病史、胸部手术史者; ②合并严重器质性疾病者; ③有锁骨上淋巴结或远处转移者。其中男性 16 例,女性 14 例,年龄 48~81 岁,中位年龄 (65.2 ± 6.4) 岁。肿瘤位置:右肺上叶 3 例,右肺中叶 3 例,右肺下叶 3 例,左肺上叶 4 例,左肺下叶 5 例,左肺门 6 例,纵隔转移淋巴结 6 例。病理类型:鳞状细胞癌 22 例,腺癌 8 例。

1.2 主要设备

Trilogy 直线加速器、21EX 直线加速器多叶准直

器、机载千伏级 CBCT 和 Eclipse 治疗计划系统(TPS)购自美国 Varian 公司, Somatom-sensation Plus-16 螺旋 CT 购自德国 Siemens 公司。

1.3 方法

1.3.1 定位方法 全部患者取仰卧位,头垫碳素纤维底架及头枕取舒适体位,并双手抱头后用热塑体膜固定,参考坐标标记选择双标记法。使用 CT 扫描机扫描胸部,层间距取 5 mm,从环甲膜平扫描至膈肌下缘,期间 CT 影像师叮嘱患者平静呼吸,扫描图像上传至 TPS 作 3D 图像重建。

1.3.2 靶区勾画 根据国际辐射单位与测量委员会(ICRU)第 50 号报告原则行靶区勾画^[6],基于 CT 扫描获得图像资料,在 TPS 中勾画出肉眼可见的大体肿瘤体积(GTV),基于肺部病变部位和病理类型做相应外扩,勾画出临床靶体积(CTV),再对病变具体位置加运动误差及 5 mm 摆位误差,确定 CTV 外放范围,得到计划靶体积(PTV),并勾画患者脊髓、肺和心脏等正常器官及组织。

1.3.3 制定治疗计划 物理师利用 TPS 软件制定调强放疗(IMRT)或三维全方位肿瘤立体放疗(3DCRT) \pm IMRT 混合调强计划^[7],处方剂量 60~70 Gy,5 次/周,1.8~2.0 Gy/次,共 28~35 次。物理师制定计划后,交由临床医师确认、校位,并传输至加速器工作站行放疗。

1.3.4 CBCT 图像获取和匹配 患者摆位后,直线加速器机载 CBCT 对其进行扫描治疗,选择 full fan 滤线器,参数设置:CBCT 模式: 3D/3D Match; 采集模式: 半扇区模式; 图像分辨率: 512 \times 512; 重建层厚: 2.5 mm; 电压: 70 kV; 电流: 50 mA; 每帧图像获取时间: 6 ms; 扫描范围: 360 $^{\circ}$; 旋转速度: 60/s。常规分割首次均行 CBCT 扫描,再 CBCT 扫描 1~2 次/周; 大分割则分次剂量 ≥ 500 cGy,每次治疗前均行 CBCT 扫描。机载影像系统(OBI)将 CBCT 影像和定位 CT 图像自动比对、匹配,自动显示、记录实际靶中心位置和定位 CT 扫描时靶中心位置在患者身体左右(x 轴)、头脚(y 轴)和前后(z 轴)方向的误差值,若 x、y、z 轴任一项误

差 ≤ 3 mm,则为移动治疗床位置正确,行照射治疗。

1.4 摆位误差统计

基于ICRU 62号报告中坐标系^[8],各方向偏移值均为矢量,左右为x轴,左方向为正;头脚为y轴,头方向为正;前后为z轴,前方向为正。分次间摆位误差值均取绝对值,个体系统误差取摆位误差的平均值,个体随机误差取摆位误差的标准差。群体系统误差(Σ)则为个体系统误差均值,群体随机误差(δ)则为随机误差均值。

1.5 治疗计划模拟和评估

根据OBI测得的匹配误差,得到未移床时治疗中心坐标,并将分次治疗中心移至未移床时中心后计划合并,模拟未移床下照射剂量分布情况。靶体积评价指标包括95%GTV体积受照剂量(GTV D₉₅)和95%CTV体积受照剂量(CTV D₉₅)。危及器官评价指标为双肺V₅(5 Gy照射体积百分比)、V₁₀(10 Gy照射

体积百分比)、V₂₀(20 Gy照射体积百分比)和V₃₀(30 Gy照射体积百分比)、脊髓的最大剂量(D_{max})、心脏的平均剂量(D_{mean})。

1.6 统计学方法

采用SPSS 17.0软件对数据进行统计分析,各治疗计划指标选择 One-Sample Kolmogorov-Smimov Test 检验。正态分布资料选择配对 *t* 检验,非正态分布资料选择 Wilcoxon 秩检验。

2 结果

2.1 CBCT扫描摆位误差测量结果

共获得有效扫描数据30例,共扫描236次,2例患者头脚扫描误差 ≥ 5.4 cm,重新摆位扫描无显著改善,退出重新定位。测量误差可得,x轴为 (-0.40 ± 2.81) mm,y轴为 (1.40 ± 5.18) mm,z轴为 (-0.80 ± 2.15) mm。具体数据如表1和图1所示。

表1 NSCLC 患者CBCT摆位误差值(mm)

Tab.1 Setup errors in cone-beam CT scans in patients with non-small cell lung cancer (NCSLC) (mm)

Axis	Systematic error	Random error	Maximum value of setup error	Minimum value of setup error	Median value of setup error
x	-0.4	2.81	10	-11	0
y	1.4	5.18	10	-15	1
z	-0.8	2.15	5	-7	0

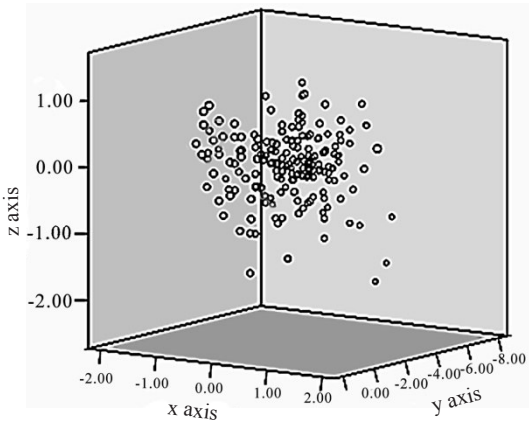


图1 CBCT扫描x、y和z轴摆位误差测量图

Fig.1 Measurement graph of setup errors in the x, y and z axis in CBCT scan

2.2 各摆位误差区间情况比较

x轴摆位误差 ≤ 3 mm为203次,概率86.01%;y轴摆位误差 ≤ 3 mm为121次,概率51.27%;z轴摆位误差 ≤ 3 mm为210次,概率88.98%,均显著高于其它误差区间($P<0.05$)。具体数据如表2所示。

表2 各摆位误差区间情况比较[次数(%)]

Tab.2 Comparison of setup error ranges in different directions [n(%)]

Error interval	x	y	z
D ≤ 3 mm	203 (86.01)	121 (51.27)	210 (88.98)
3 mm <D ≤ 5 mm	22 (9.32)	72 (30.51)	16 (6.78)
5 mm <D ≤ 8 mm	7 (2.97)	30 (12.71)	6 (2.54)
D>8 mm	4 (1.70)	13 (5.51)	4 (1.70)
H value	26.830	8.966	29.160
P value	<0.000 1	0.024 2	<0.000 1

2.3 首次CBCT扫描和其它各次扫描误差比较

首次CBCT扫描x、y、z轴误差均值分别为 (0.230 ± 0.181) 、 (0.388 ± 0.273) 和 (0.258 ± 0.184) cm;其它各次CBCT扫描x、y、z轴误差均值分别为 (0.243 ± 0.237) 、 (0.411 ± 0.362) 和 (0.287 ± 0.182) cm。首次CBCT扫描x、y和z轴误差均值均低于其它各次x、y和z轴扫描,差异无统计学意义($P>0.05$);x、y和z轴的首次CBCT扫描误差和其它各次扫描误差差异具有统计学意义($P<0.05$),如表3所示。

表 3 首次 CBCT 扫描和其它各次扫描误差对比 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.3 Comparison of setup errors between the first CBCT scan and later scans (Mean±SD)

Item	First CBCT scan/cm	Later scans/cm	F value	P value
x	0.230±0.181	0.243±0.237	0.043	0.829
y	0.388±0.273	0.411±0.362	0.124	0.726
z	0.258±0.184	0.287±0.182	0.592	0.442
F value	5.952	6.887	-	-
P value	0.035 1	0.021 1	-	-

2.4 模拟摆位误差对剂量影响

结果可得,模拟未移床时肺 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 和脊髓 D_{max} 及心脏 D_{mean} 分别为原计划 (102.6±6.5)%、(103.2±8.5)%、(105.3±15.1)%、(110.6±40.0)% 和 (98.1±6.8)%、(92.4±5.5)%, PTV D_{95} 为原计划的 (88.1±10.3)%, GTV D_{95} 为原计划的 (98.8±5.2)%, 其中 PTV D_{95} 和原计划差异比较具有统计学意义 ($P<0.05$), 见表 4。将 PTV D_{95} 摆位误差组比较可得 >5 mm 组和计划相比差异有统计学意义 ($P<0.01$), 其余组和计划相比差异无统计学意义 ($P>0.05$), 见表 5。

表 4 模拟摆位误差和原计划误差剂量比较 (%)

Tab.4 Comparison of the setup errors between the simulation and the original plan (%)

Item	Percentage of simulated setup error in the original plan	F value	P value
V_5	1.026±0.065	0.014	0.908
V_{10}	1.032±0.085	0.008	0.928
V_{20}	1.053±0.151	0.031	0.861
V_{30}	1.106±0.400	0.045	0.834
Spinal cord- D_{max}	0.981±0.068	0.021	0.884
Heart D_{mean}	0.924±0.055	0.069	0.752
PTV D_{95}	0.881±0.103	7.041	0.011
GTV D_{95}	0.988±0.052	1.682	0.201

D_{max} : Maximum dose; D_{mean} : Mean dose; PTV: Planning target volume; GTV: Gross target volume

表 5 PTV D_{95} 各误差区间患者人数对比

Tab.5 Comparison of the number of patients in each error range and PTV D_{95}

Error range	The number of patients (%)	PTV D_{95} /%	P value
<3 mm	6 (20.00)	96.97	0.217 0
3-5 mm	20 (66.67)	93.09	0.179 0
>5 mm	4 (13.33)	74.62	<0.000 1

3 讨论

摆位误差对于肿瘤患者放疗精度及剂量具有密切相关性,为达到放疗患者体位和计划体位一致,选择热塑体膜和真空垫等固定及保持患者的操作规程摆位,但由于定位后和实施放疗有时间间隔,加之射线和留置针均可致肢体扭曲或产生疼痛感,此外部分患者首次入治疗室会恐惧、紧张,可致体位扭动而产生较高摆位误差^[9-10]。因此,许多研究者正在努力寻找合适的引导方式,从而降低摆位误差和提高摆位准确性。

诸多研究显示^[11-12],CBCT 引导放疗摆位具有的 优点包括:①缩小计划靶区,针对不同患者制订个性化的计划靶区,提升放疗精度;②减小放疗靶区内敏感组织体积,实现对肿瘤集中性高剂量照射;③可对放疗摆位误差在线或离线纠正,提高肿瘤照射剂量的局控率。Su 等^[13]研究得出摆位误差对精确放疗影响较明显,放疗前制订的计划剂量分布可因为摆位误差,造成实际靶区剂量分布和计划差别较大。本研究中,笔者选取 CBCT 引导 NSCLC 放疗摆位,充分 CBCT 图像分辨率较高和清晰地显示检查靶区内骨及软组织结构的特点,达到对患者精准放疗的目的。本研究中,笔者在 CBCT 引导下对 NSCLC 患者放疗,共获得有效扫描数据 30 例,共扫描 236 次,其中仅有 2 例患者头脚扫描误差 ≥5.4 cm,重新摆位后改善不显著,分析其原因可能和患者体表标记点错误相关。Selek 等^[14]研究认为头脚扫描误差 ≥5.0 概率仅为 0.01% 左右,但是可致 CBCT 扫描错误率上升至 13%~20%,基于此,笔者选择退出重新定位。由本研究放疗误差可知,CBCT 通过将放射治疗机和影像设备完美结合,可准确评估实际放疗靶区和计划靶区一致性,达到对 NSCLC 肿瘤的精准放疗。

Kong 等^[15]研究 24 例患者 209 次 CBCT 的摆位误差,可得 CBCT 能够清晰显示软组织结构和精确估计放疗中心位置,可准确反映肿瘤分布和摆位误差,降

低正常组织的射线吸收剂量。笔者选择千伏级CBCT扫描采取肿瘤区图像,根据分析结果引导放疗治疗,准确、及时评估和发现实际摆位和治疗计划摆位误差,同时手动遥控纠正治疗床或重摆位,达到修正误差以达到精确治疗。患者x轴摆位误差 ≤ 3 mm为203次,概率86.01%;y轴摆位误差 ≤ 3 mm为121次,概率51.27%;z轴摆位误差 ≤ 3 mm为210次,概率88.98%,均显著高于其他误差区间($P<0.05$)。结果基本符合何尧林^[16]研究中得出CBCT引导纠正x、y和z轴误差 ≤ 3 mm的概率为76%~84%的结论。但笔者发现CBCT引导性z轴误差相对较高,推断其原因可能为肺部肿瘤患者选择平卧位,使得CT扫描以躯体平扫为主,造成物理师没有对患者前后摆位进行精准纠正。

摆位误差包括系统误差和随机误差,系统误差产生原因为机器设备精确度降低和操作员摆位标准差异,随机误差产生原因为机器设备不稳、摆位后体位变动和操作误差,前者属于不可控,后者则为可控。Su等^[17]研究认为首次扫描误差由于机器设备初次固定和摆位后患者没有受到射线刺激,故其扫描误差高于其它各次扫描。在本研究中,首次CBCT扫描x轴误差均值(0.230 ± 0.181) cm、y轴误差均值(0.388 ± 0.273) cm和z轴误差均值(0.258 ± 0.184) cm均低于其它各次扫描x轴误差均值(0.243 ± 0.237) cm、y轴误差均值(0.411 ± 0.362) cm和z轴误差均值(0.287 ± 0.182) cm,差异无统计学意义($P>0.05$)。这个结果优于等研究中胸部肿瘤患者行CBCT引导放疗治疗扫描后,首次x轴误差(-0.319 ± 3.694) mm、y轴误差(0.485 ± 6.264) mm和z轴误差(0.414 ± 5.282) mm的结果。这表明CBCT可以提高放疗首次治摆位位置精度,从而整体提高精确治疗摆位基准。Corso等^[18]研究得出x、y和z轴差异无显著性。在本研究中,得出x、y和z轴首次CBCT扫描误差和其它各次扫描误差差异具有统计学意义($P<0.05$),这表明左右、头脚、前后方向由于固定方式不同,造成相对位移差异性较大,而y轴为头脚方向,可因患者抱头势稍改变而出现较大摆位误差,因此,笔者认为CBCT引导下放疗仍需注意患者头脚固定。

Ouyang等^[19]研究得出系统误差和随机误差对放疗靶区和危及器官照射剂量影响各异,其中系统误差影响放疗总剂量,随机误差则影响分次剂量波动。张国军等^[20]通过研究头颈部肿瘤摆位误差对头颈部肿瘤放疗的影响,得出系统误差对射线剂量的影响显著高于随机误差。笔者利用CBCT引导通过

控制NSCLC患者体位系统误差,通过计算机模拟实际放疗中患者体位x、y和z轴的线性误差,采取每次放疗前均行CBCT扫描、各次治疗中心和实际扫描中心进行匹配合并的方式分割放疗区域,得出模拟未移床时肺 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 分别为原计划(102.6 ± 6.5)%、(103.2 ± 8.5)%、(105.3 ± 15.1)%、(110.6 ± 40.0)%。CBCT引导可通过改善摆位误差影响肿瘤射线受量,且肺组织距离放疗照射中心越近,其射线受量误差影响越明显。

脊髓和心脏均为NSCLC患者放疗治疗中重要的串联器官,二者受照射剂量和放疗并发症概率呈正相关^[21],因此降低其照射剂量及其正常组织受照剂量均可改善患者预后,抑制不必要的射线损伤。研究中,脊髓 D_{max} 为计划量的(98.1 ± 0.362)%,这表明CBCT引导通过纠正摆位误差,改善肿瘤和脊髓相对位置,使得误差方向偏离脊髓,降低脊髓射线受量。此外,心脏 D_{mean} 为计划量的(92.4 ± 5.5)%,剂量降低程度大于脊髓,这可能因为心脏剂量头脚及左右分布受摆位误差影响更明显,而CBCT可显著降低x和y轴误差,从而使得射线可以集中于肿瘤靶区。在本研究中,PTV D_{95} 为原计划的(88.1 ± 10.3)%,GTV D_{95} 为原计划的(98.8 ± 5.2)%,其中PTV D_{95} 和原计划差异比较具有统计学意义($P<0.05$),这表明精确放疗时肿瘤靶体积受摆位误差影响明显。Knudtsen等^[22]通过模拟鼻咽癌放疗患者不同摆位误差情况下靶区照射剂量变化情况,得出三维方向上平移误差 $\geq 2\sim 3$ mm或旋转误差 $\geq 3^\circ$,则可使PTV D_{95} 和GTV D_{95} 靶区照射剂量下调。由于GTV D_{95} 和计划差异无统计学意义($P>0.05$),笔者只对PTV D_{95} 分组比较,结果显示 >5 mm组和计划相比差异有统计学意义($P<0.01$),其余组和计划相比差异无统计学意义($P>0.05$),这表明系统摆位误差达到或超过5 mm,可致调强计划射线剂量明显增加,与Koshy等^[23]研究得出调强计划受摆位误差影响更明显结论相符。

综上所述,CBCT可有效纠正接受放疗患者摆位误差,从而提高靶区放疗精准性,降低正常组织射线受量,改善患者预后,值得临床推广。

【参考文献】

- [1] 王恩阳,徐飞,贾明轩.应用千伏级锥形束CT对非小细胞肺癌立体定向放疗PTV外放边界研究[J].中国CT和MRI杂志,2016,14(2):37-39.
WANG E Y, XU F, JIA M X. Study on the margin of PTV using kV-CBCT for non-small cell lung cancer with stereotactic body radiation therapy[J]. Chinese Journal of CT and MRI, 2016, 14(2):

- 37-39.
- [2] 谷文静. CBCT投影数据去噪算法的研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2015.
GU W J. Research on CBCT projection data denoising algorithm [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2015.
- [3] CHANG Y L, BEZJAK A, MORNEX F, et al. Stereotactic ablative radiotherapy for centrally located early-stage non-small-cell lung cancer: what we have learned on behalf of the IASLC advanced radiation technology committee[J]. *J Thorac Oncol*, 2014, 10(4): 577-585.
- [4] 王义海, 柔倩, 张瑾熔, 等. 15例非小细胞肺癌IMRT计划与IGRT计划剂量学比较研究[J]. *新疆医科大学学报*, 2014, 37(1): 97-100.
WANG Y H, ROU Q, ZHANG J R, et al. Dosimetry comparison study of IMRT and IGRT plan for non-small cell lung cancer in 15 patients[J]. *Journal of Xinjiang Medical University*, 2014, 37(1): 97-100.
- [5] 徐升, 张军宇, 周菊英, 等. 锥形束CT评估鼻咽癌调强放疗摆位误差及其对剂量分布的影响[J]. *实用癌症杂志*, 2014, 10(9): 1187-1189.
XU S, ZHANG J N, ZHOU J Y, et al. Kilo-volt cone-beam CT evaluation of set-up errors in nasopharyngeal carcinoma treated with intensity modulation radiotherapy and its effects on dose distribution[J]. *The Practical Journal of Cancer*, 2014, 10(9): 1187-1189.
- [6] BÜTOF R, KIRCHNER K, APPOLD S, et al. Potential clinical predictors of outcome after postoperative radiotherapy of non-small cell lung cancer[J]. *Strahlenther Onkol*, 2014, 190(3): 263-269.
- [7] 黄娜, 康盛伟, 冯玺, 等. 锥形束计算机断层扫描在减少非小细胞肺癌放疗正常组织中损伤的应用研究[J]. *中国肿瘤临床与康复*, 2015, 22(2): 179-181.
HUANG N, KANG S W, FENG X, et al. Application value of cone beam computed tomography in the application of radiotherapy of non-small cell lung cancer[J]. *Chinese Journal of Clinical Oncology and Rehabilitation*, 2015, 22(2): 179-181.
- [8] 李毅, 李文荣, 苏进, 等. 基于CBCT非小细胞肺癌外放边界研究[J]. *中国医学物理学杂志*, 2014, 31(4): 5006-5011.
LI Y, LI W R, SU J, et al. Study of the individualization margin definition by CBCT for NSCLC [J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2014, 31(4): 5006-5011.
- [9] 兰卫光, 王振光, 刘长民, 等. 非小细胞肺癌三维适形放疗中再次CT定位对靶区及正常组织剂量学影响的研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2015.
LAN W G, WANG Z G, LIU C M, et al. The impact of secondary positioning by scanning CT on the tumor volume and normal tissue dosimetry in the three dimensional conformal radiation therapy for non-small cell lung cancer[D]. Qingdao: Qingdao University, 2015.
- [10] WARREN M, WEBSTER G, RYDER D, et al. An isotoxic planning comparison study for stage II-III non-small cell lung cancer: is intensity-modulated radiotherapy the answer?[J]. *Clin Oncol*, 2014, 26(8): 461-467.
- [11] CHRISTODOULOU M, BAYMAN N, MCCLOSKEY P, et al. New radiotherapy approaches in locally advanced non-small cell lung cancer[J]. *Eur J Cancer*, 2014, 50(3): 525-534.
- [12] CHANG J Y, BEZJAK A, MORNEX F. Stereotactic ablative radiotherapy for centrally located early stage non-small-cell lung cancer: what we have learned [J]. *J Thorac Oncol*, 2015, 10(4): 577-585.
- [13] SU S, HU Y, OUYANG W, et al. The survival outcomes and prognosis of stage IV non-small-cell lung cancer treated with thoracic three-dimensional radiotherapy combined with chemotherapy [J]. *Radiat Oncol*, 2014, 9(1): 290.
- [14] SELEK U, CHANG J Y. Evolution of modern-era radiotherapy strategies for unresectable advanced non-small-cell lung cancer [J]. *Lung Cancer Management*, 2013, 2(3): 213-225.
- [15] KONG F M, ZHAO J, WANG J, et al. Radiation dose effect in locally advanced non-small cell lung cancer [J]. *J Thorac Dis*, 2014, 6(4): 336-347.
- [16] 何尧林. 乳腺癌放疗摆位误差分析及其对心肺受量的影响[D]. 南宁: 广西医科大学, 2015.
HE R L. Analysis of radiotherapy setup errors of breast cancer sufferers immobilized by heard-shoulder-truncus vacuum bags[D]. Nanning: Guangxi Medical University, 2015.
- [17] SU S F, HU Y X, OUYANG W W, et al. Overall survival and toxicities regarding thoracic three-dimensional radiotherapy with concurrent chemotherapy for stage IV non-small cell lung cancer: results of a prospective single-center study [J]. *BMC Cancer*, 2013, 13(1): 1-9.
- [18] CORSO C D, RUTTER C E, WILSON L D, et al. Re-evaluation of the role of postoperative radiotherapy and the impact of radiation dose for non-small-cell lung cancer using the National Cancer Database[J]. *J Thorac Oncol*, 2015, 10(1): 148-155.
- [19] OUYANG W W, SU S F, HU Y X, et al. Radiation dose and survival of patients with stage IV non-small cell lung cancer undergoing concurrent chemotherapy and thoracic three-dimensional radiotherapy: reanalysis of the findings of a single-center prospective study [J]. *BMC Cancer*, 2014, 14(1): 98-106.
- [20] 张国军, 黄艳萍, 尚钧. CBCT技术在头颈部肿瘤放疗摆位中的应用[J]. *实用癌症杂志*, 2014, 29(10): 1334-1335.
ZHANG G J, HUANG Y P, SHANG J. Application of CBCT in radiotherapy position of head and neck cancer [J]. *The Practical Journal of Cancer*, 2014, 29(10): 1334-1335.
- [21] DAVIS J N, MEDBERY C, SHARMA S, et al. Stereotactic body radiotherapy for centrally located early-stage non-small cell lung cancer or lung metastases from the RSSearch® patient registry [J]. *Radiat Oncol*, 2015, 10: 113.
- [22] KNUDTSSEN I S, ELMPT W V, ÖLLERS M, et al. Impact of PET reconstruction algorithm and threshold on dose painting of non-small cell lung cancer [J]. *Radiother Oncol*, 2014, 113(2): 210-214.
- [23] KOSHY M, MALIK R, SHER D J, et al. The effect of radiotherapy dose on survival in stage III non-small-cell lung cancer patients undergoing definitive chemoradiotherapy [J]. *Clin Lung Cancer*, 2014, 15(5): 365-371.

(编辑:陈丽霞)