

摆位误差对肝癌立体定向放射治疗剂量学的影响

陆世培¹, 陈昱汐^{1,2}, 盘茵琳^{1,2,3}, 黄思娟¹, 杨鑫¹

1. 中山大学肿瘤防治中心/华南肿瘤学国家重点实验室/肿瘤医学协同创新中心/广东省鼻咽癌诊治研究重点实验室, 广东 广州 510060; 2. 中山大学新华学院, 广东 广州 510520; 3. 广州医科大学附属肿瘤医院, 广东 广州 510095

【摘要】目的:在锥形束CT(CBCT)图像引导下,测量立体定向放射治疗(SBRT)中肝癌的摆位误差,并讨论摆位误差对靶区PTV和危及器官(OAR)剂量的影响。**方法:**回顾性分析接受SBRT的肝癌患者13例,每日放射治疗前行CBCT扫描,与计划CT图像进行灰度配准,根据肿瘤靶区及OAR位置获取患者移床参数,在计划系统中计算剂量分布,并分析移床参数对靶区PTV、OAR剂量和均匀性指数(HI)、适形度指数(CI)等一系列剂量学参数的影响。**结果:**校正后X、Y、Z方向上的摆位误差分别为(0.47±2.00)、(1.54±4.16)、(0.10±2.77) mm, Y方向上的摆位误差较大。相对于最小位移,最大位移对靶区、HI和CI影响大;对于OAR,与原始计划相比,左肾、小肠最大位移的剂量分布在 D_{mean} 、 D_{max} 上具有统计学意义,右肾最小位移的剂量分布在 D_{mean} 上具有统计学意义。**结论:**≤3 mm的摆位误差对靶区剂量的影响比>5 mm的影响小,但对于最小剂量和覆盖率仍然影响显著。应该尽可能减小摆位误差,以实现精确放疗。

【关键词】肝癌;图像引导放射治疗;立体定向放射治疗;摆位误差;剂量学

【中图分类号】R735.7;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)11-1360-07

Effects of setup error on the dosimetry of stereotactic body radiotherapy for liver cancer

LU Shipei¹, CHEN Yuxi^{1,2}, PAN Yinlin^{1,2,3}, HUANG Sijuan¹, YANG Xin¹

1. Cancer Center of Sun Yat-sen University/State Key Laboratory of Oncology in South China/Collaborative Innovation Center for Cancer Medicine/Guangdong Provincial Key Laboratory of Nasopharyngeal Carcinoma Diagnosis and Therapy, Guangzhou 510060, China; 2. Xinhua College of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510520, China; 3. Cancer Center of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510095, China

Abstract: Objective Under the guidance of cone-beam CT (CBCT) images, the setup error of stereotactic body radiotherapy (SBRT) for liver cancer was measured, and the effect of setup error on the PTV and organ-at-risk (OAR) dose in the target area was discussed. **Methods** 13 liver cancer patients who received SBRT was reviewed retrospectively. CBCT image was taken before each daily radiotherapy and then the gray-scale registration was done with the planning CT images. Based on the coach shifting parameters from the tumor target area and OAR position, the dose distribution in the planning system was calculated, and the effects of coach shifting parameters on a series of dosimetric parameters such as PTV, OAR dose, uniformity index (HI), and conformity index (CI) was analyzed. **Results** After correction, the setup errors in X, Y and Z directions are (0.47±2.00), (1.54±4.16) and (0.10±2.77) mm respectively, and the setup error is larger in Y direction. Compared with the minimum displacement, the maximum displacement has a significant effect on the target area, HI and CIF. As for OARs, compared with the original plan, the dose distribution of the maximum displacement in the left kidney and small intestine is statistically significant in the D_{mean} and D_{max} , and the dose distribution of the minimum displacement in the right kidney is statistically significant in the D_{mean} . **Conclusion** The effect of setup error ≤3 mm on the dose of target area is smaller than that >5 mm, but the effect still has a significant impact on the minimum dose and coverage rate. In order to achieve accurate radiotherapy, the setup error should be minimized as much as possible.

Keywords: liver cancer; image-guided radiotherapy; stereotactic body radiotherapy; setup error; dosimetry

【收稿日期】2020-03-24

【基金项目】广州市珠江科技新星专项(201710010162);广东省自然科学基金(2017A030310217);“医学信息分析及肿瘤诊疗湖北省重点实验室”开放课题(PJS140011504);大学生创新创业训练计划项目(202013902065, 202013902062, 20191390109, 201813902075, 201813902071, 201713902050)

【作者简介】陆世培,放射治疗技师,研究方向:肿瘤放射治疗技术、放疗质控质保, E-mail: lushp@sysucc.org.cn

【通信作者】杨鑫,博士,硕士生导师,助理研究员,研究方向:医学物理、生物医学工程、放疗质控质保, E-mail: yangxin@sysucc.org.cn

前言

原发性肝癌是我国最常见的恶性肿瘤之一,在我国和全球发病率中分别位居第3和第5,死亡率位居第2和第3^[1-2],其中约50%的新发和死亡病例发生在中国^[3]。放射治疗技术为不可切除的晚期肝癌患者提供潜在的治愈性切除或移植的可能性,对患者的病情起适当的缓解作用^[4-7]。相对于传统的放疗,立体定向放射治疗(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT)技术利用放射治疗设备使射线聚焦到肿瘤,使肿瘤之外的剂量梯度下降快,使肿瘤产生局灶性破坏,而将正常组织受到的损伤降至最低程度^[8]。并且相对于传统分次治疗,SBRT的分次数量更少,分次剂量更大。图像引导调强放射治疗(Image Guided Radiation Therapy, IGRT)是在患者进行治疗前、治疗中或治疗后利用各种影像设备获取患者相关影像资料,对肿瘤、正常组织器官或患者体表轮廓进行定位,能根据其位置变化进行调整,以达到靶区精确放疗、减少正常组织受照体积和减少患者毒副反应的效果并取得了良好的疗效^[9-10]。临床研究显示,肝癌的放疗剂量与患者的生存率、缓解率呈显著正相关^[11-12]。因此对于SBRT,靶区的精确定位对整个放射治疗计划的执行有至关重要的作用,须在放射治疗前利用影像设备采集肿瘤以及对周围正常组织的图像进行引导,进行个体化的图像校正^[13-15]。在原发性肝癌SBRT放射治疗中,SBRT技术不同程度地解决了原发性肝癌放疗的3大难题:①正常肝脏和邻近危及器官(OARs)的受量限制;②需要高剂量;③肿瘤体积大^[16]。

本研究对肝癌SBRT放疗患者每次放疗前扫描CBCT图像,将所得图像与计划图像进行灰度配准并将配准所得移床数值输入计划系统进行计算剂量分布,与原始计划剂量进行对比分析,并分析靶区PTV、OAR剂量和靶区均匀性指数(Homogeneity Index, HI)、靶区覆盖指数(Coverage Index, CI)等一系列剂量学参数,为临床实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 一般材料

随机选取中山大学肿瘤防治中心应用SBRT放射治疗的肝癌患者13例,均为男性。年龄28~81岁,中位数56岁。选取标准:处方剂量3 900 cGy(650 cGy×6次)。每例患者均进行6次CBCT扫描,共行78次。本文所使用的病历资料、临床数据与实验结果,均上传至RDD(Reserch DataDeposit, www.reserchdata.org.cn)平台进行审核(RDDA2020001692)。

1.2 靶区定位及计划设计

患者均采用真空袋进行体位固定,仰卧位,双手抱肘置于额前。每次治疗由同一位或者熟练度相近的两位放射治疗技师在患者平静呼吸状态下进行共同摆位操作。

在平静呼吸状态下采用荷兰Philips CT模拟机(85 cm孔径模拟CT)进行扫描定位。参考《原发性肝癌诊疗规范(2011年版)》处方剂量和靶区勾画^[17]。临床肿瘤体积(Clinical Target Volume, CTV)为肿瘤区(Gross Traget Volume, GTV)外扩5~10 mm。在未采用主动呼吸控制技术(ABC系统)的条件下,计划体积(Planning Target Volume, PTV)为在CTV基础上,左右方向外扩6~9 mm,前后方向外扩9~12 mm,向上外扩10 mm,向下外扩19~21 mm。在PTV满足95%处方剂量的前提下进行计划设计,将获得的定位CT图像上传至Monaco放疗计划系统。同时上传至X线容积成像(X-Ray Volume Imaging, XVI)系统用于放射治疗前的图像配准。

1.3 图像获取、匹配以及校正

采用Verse HD医用直线加速器(配备有kV-CBCT和XVI),在治疗前扫描CBCT获取靶区和重要器官的图像数据,并进行在线校正误差,实现基于kV-CBCT的IGRT。在本研究中,肝癌患者扫描CBCT旋转角度从181°开始至179°,在患者每次治疗前摆位后进行扫描,获取一组X线容积图像。利用XVI系统获取数据,并分析重建,获得横断面、矢状面及冠状面CT图像;用软件自带的自动配准功能,采用灰度配准方式进行匹配对比,获取与治疗前靶区位置对比产生的移床参数:X、Y、Z方向,记录并进行移床校正,然后对患者进行治疗。

1.4 计划评价

靶区和OAR剂量参数包括最大剂量 D_{max} 、最小剂量 D_{min} 、平均剂量 D_{mean} 和覆盖率等。比较靶区的均匀性指数(Homogeneity Index, HI)和适形度指数(Conformity Index, CI),以评价摆位误差对靶区剂量分布的影响。

$$HI_{98} = \frac{D_2}{D_{98}} \quad (1)$$

$$HI_{95} = \frac{D_5}{D_{95}} \quad (2)$$

$$CI = \frac{V_{PTV, 3900}}{V_{PTV}} \times \frac{V_{PTV, 3900}}{V_{3900}} \quad (3)$$

HI_{98} 、 HI_{95} 的范围为 ≥ 1 ,等于1时,剂量分布均匀性最好,值越大,剂量分布均匀性越差;CI的范围为0~1,越靠近于1,靶区适形度越好,等于0时靶区适形度最差^[18]。

1.5 移床参数的剂量模拟

研究表明将分次摆位误差带入TPS,给出相应分次权重制作融合计划的方式模拟摆位误差对剂量分布的影响更接近真实的治疗剂量分布情况^[19]。在Monaco计划系统中,保持原计划的射野参数不变,手动改变其射野等中心点的坐标,使其等于移床参数值并利用欧氏距离进行距离计算。其中放疗计划射野等中心的坐标平移值为CBCT匹配后X、Y、Z 3个方向上的移床参数值。为研究X、Y、Z 3个方向上移床参数值共同对原计划剂量造成的影响,本研究中采用欧氏距离将X、Y、Z 3个方向上移床参数值进行合并。

$$|D| = \sqrt{(X^2 + Y^2 + Z^2)}$$

(4)

最大位移(Max)= $|D|_{\max}$

(5)

最小位移(Min)= $|D|_{\min}$

(6)

最大位移的剂量分布为对应欧氏距离的最大模拟剂量分布,最小位移的剂量分布为对应欧氏距离的最小模拟剂量分布。

1.6 统计学方法

应用SPSS 24.0统计软件对摆位误差所造成的剂量学变化资料进行统计学分析。符合正态分布的数据用配对t检验,否则用非参数秩和检验, $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 摆位误差统计

如图1所示,78次摆位误差X轴、Z轴方向次数大致呈均匀分布^[20],Y轴方向上,头方向的次数明显大于脚方向。X-Y图显示,总体摆位误差集中分布于一、二象限,X方向次数大致呈均匀分布,Y方向上,头方向的次数明显大于脚方向。Y-Z图显示,总体摆位误差集中分布于一、四象限,Y方向分布与X-Y图类似,Z方向次数大致呈均匀分布。X-Z图显示,总体摆位误差分布较为集中,均匀分布于四个象限。

由图2可知,总体上,X、Y、Z正方向上的平均位移绝对值大于负方向的平均位移绝对值。X和Z方向在正负方向的病例数分布均匀,而Y方向上的病例数分布不均,13例病人头方向的平均位移多于脚方向。

图3显示Y方向相较于另外两个方向,位移范围较大,最大可达11 mm,最小可至-12 mm。X、Z方向的正、负方向分布较为均匀,但Y方向的正、负方向分布不均,图像动度大。

如图4所示,Y方向放疗前的位移偏差波动较大,且头方向的位移次数远高于脚方向的位移次数。X、Z方向上左、右方向和前、后方向的位移次数无明显差异。

表1显示,X、Y、Z方向的误差分布区间分别为

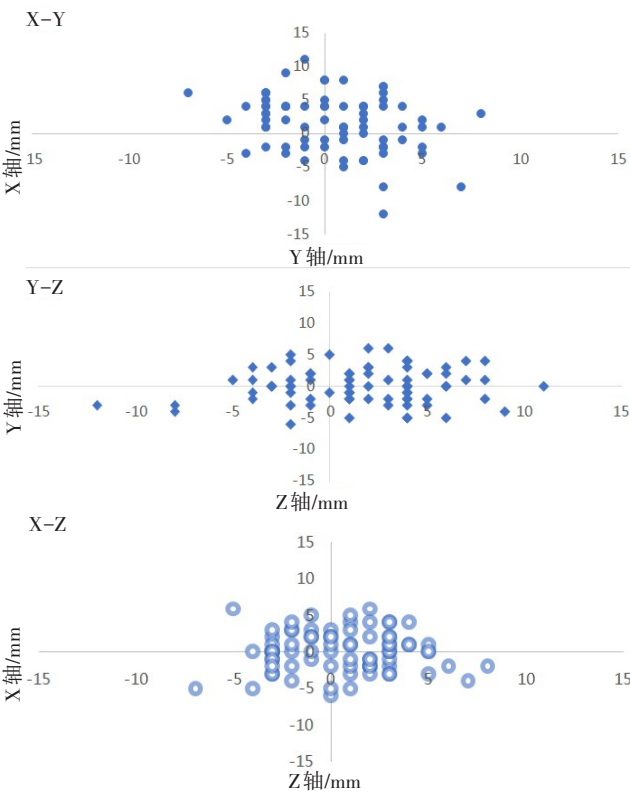


图1 所有患者78次摆位误差坐标分布
Fig.1 Coordinate distribution of 78 setup errors for all patients

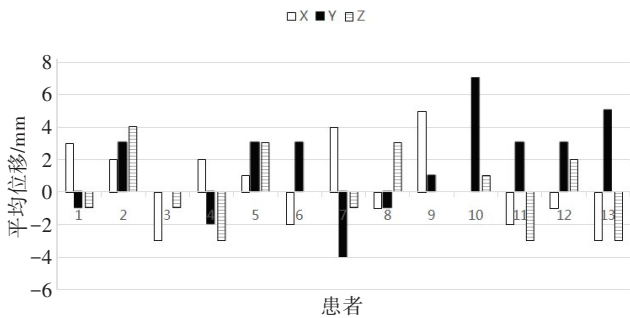


图2 13例病人在X、Y、Z方向上的平均误差
Fig.2 Mean error of 13 patients in X, Y, and Z directions

-7~8 mm、-12~11 mm、-6~6 mm。X、Z方向的系统误差在1 mm以下,说明设备精度高^[24],但Y方向上的系统误差略高于1 mm。随机误差均<5 mm,但大于1 mm,这表明重复性差,随机误差是导致摆位误差的主要因素。X、Y方向上的摆位误差分布不对称,且Y方向上的误差偏差大。

2.2 摆位误差对靶区PTV的剂量学影响

13例病人中,最大位移均 ≥ 3 mm,其中12例病人的最大位移>5 mm;最小位移均<5 mm,其中9例病人最小位移 ≤ 3 mm。

表2表明最大移床和最小移床对 D_{\max} 均无统计学意义,摆位误差对靶区 D_{\max} 无明显影响。最大移床对 D_{\min} 有显著影响。但对整个靶区的 D_{mean} 来说,大于

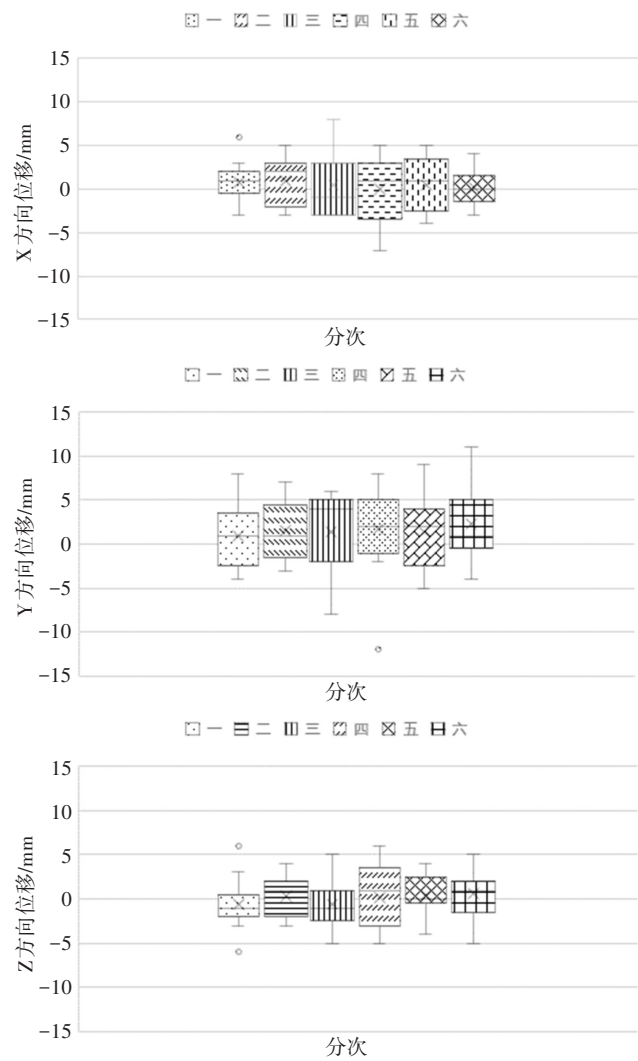


图3 13例病人在X、Y、Z方向上的分次位移
Fig.3 Fractional displacement of 13 patients in X, Y, and Z directions

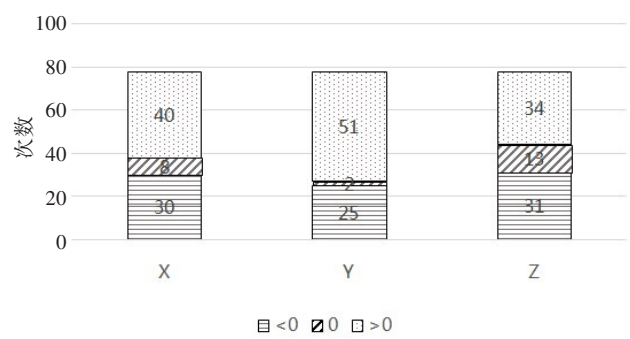


图4 摆位误差在X、Y、Z方向上的移床次数
Fig.4 Number of bed shifts with setup error in X, Y, and Z directions

表1 所有患者的摆位误差(mm)
Tab.1 Setup error for all patients (mm)

方向	系统误差	随机误差	误差极值	
			最大值	最小值
X	0.47	2.99	8	-7
Y	1.54	4.16	11	-12
Z	0.10	2.77	6	-6

>5 mm的摆位误差对靶区剂量有显著影响,<3 mm的摆位误差对靶区剂量影响相对较小。>5 mm的移床值,对D_{min}、D_{mean}、覆盖率均有明显影响;≤3 mm的移床值,只对D_{min}和覆盖率有明显影响,对D_{mean}无影响。

2.3 摆位误差对靶区适形度和均匀性的影响

由表3可知,摆位误差对最大移床和最小移床的剂量分布均匀性和适形度均有显著影响,原始计划的剂

表2 靶区PTV剂量参数的统计分析
Tab.2 Statistical analysis of PTV dose parameters for target areas

参数	最大移床	原始计划	P值	最小移床	原始计划	P值
D _{max} /cGy	4 333.085±76.140	4 328.485±114.006	0.507	4 343.069±117.813	4 328.485±114.006	0.075
D _{min} /cGy	1 555.831±933.038	3 192.023±465.245	0.000	2 724.685±618.090	3 192.023±465.245	0.001
D _{mean} /cGy	3 895.769±285.487	4 103.123±96.617	0.001	4 092.262±52.480	4 103.123±96.617	0.196
覆盖率/%	80.678±10.756	96.617±3.482	0.001	94.049±4.364	96.617±3.482	0.002

量分布均匀性和适形度明显比最大移床和最小移床好。最大移床的HI₉₈、HI₉₅、CI与原计划相比分别增加了40.1%、24.5%和减少了31.6%;最小移床的HI₉₈、HI₉₅、CI与原计划相比分别增加了4.4%、2.5%和减少了6.2%。

2.4 摆位误差对OAR的剂量学影响

对于OAR,与原始计划相比,左肾、小肠最大移床值剂量分布在D_{mean}、D_{max}上具有统计学意义,右肾最小移床值剂量分布在D_{mean}上具有统计学意义(表4)。

3 讨论

近年来,随着3DCRT、IMRT、IGRT、SBRT等放射治疗技术的逐渐发展及应用,放射治疗对不可手术的肝癌起到重要作用。图像引导下SBRT已在原发性或转移性肝癌方面显示了满意的疗效和良好的安全性^[21]。IGRT提高了靶区的控制率及放射治疗的精确性,这有利于降低周围正常组织受到的不必要辐射。Yoon等^[22]

表 3 摆位误差对 HI 和 CI 的剂量学影响
Tab.3 Dosimetric effect of setup error on HI and CI

参数	最大移床	原始计划	P 值	最小移床	原始计划	P 值
HI ₉₈	1.851±1.413	1.110±0.075	0.001	1.161±0.085	1.110±0.075	0.002
HI ₉₅	1.420±0.568	1.072±0.047	0.001	1.099±0.048	1.072±0.047	0.002
CI	0.499±0.117	0.729±0.075	0.001	0.684±0.089	0.729±0.075	0.002

表 4 OAR 剂量参数的统计分析
Tab.4 Statistical analysis of OAR dose parameters

参数	OAR	P _{最大移床}	P _{最小移床}
D _{mean}	全肾	0.099	0.084
	左肾	0.034	0.638
	右肾	0.158	0.012
D _{max}	胃	0.533	0.651
	小肠	0.033	0.533
	结肠	0.213	0.594
	十二指肠	0.753	0.345

研究发现,与 3DCRT 相比,图像引导的调强放疗增加了肝癌患者的生存获益,并且没有增加肝脏放疗毒性^[23]。在 IGRT 基础上的放射治疗已经普及,射线照射靶区的精确度明显提高,逐渐将原来常规分割模式(2 Gy/次)提高到≥3 Gy/次,甚至高达 20 Gy/次的大分割放疗^[24]。立体定向大分割放疗能够精确地将高剂量集中在肿瘤靶区,而靶区以外的剂量直线下降,这能够使肿瘤周围的正常组织受很小的照射剂量甚至免受辐射,从而达到保留部分正常肝组织不受照射的效果^[23]。姚文燕等^[25]研究指出 TOMO 的图像引导中,胸腹部肿瘤和盆腔肿瘤放射治疗时,可考虑前 5 次扫描或每周 1 次扫描的方式来代替每天 1 次扫描,减少患者受到的额外辐射剂量。但 SBRT 分割次数少,单次剂量高,对摆位精度有更高的要求,故本研究采用每次放疗前都进行图像引导扫描。摆位精度受多方面因素的影响,其中包括体位固定装置、加速器型号、激光灯的准确性以及治疗师的操作熟练程度等。摆位重复性是现代精确放疗的必要条件^[26]。本研究中患者由同一位治疗师或者操作熟练度相近的两位治疗师进行摆位和利用 CBCT 在每次患者治疗前对其进行移床校正。在放射治疗过程中,若每次治疗时存在摆位误差而未用 IGRT 进行校正,有可能会造成靶区漏照以及使 OAR 受到高剂量照射,造成严重的并发症或后遗症^[27]。

尹文晶等^[28]研究指出静态 IMRT 由于治疗时间长会使病人的不自主运动增多,且摆位误差随着治疗时间逐渐增大。有研究发现 VMAT 的治疗时间显

著缩短^[29-32]。

本研究结果显示,X 方向上误差(0.47±2.00) mm,误差分布区间为-7~8 mm,Y 方向上误差(1.54±4.16) mm,误差分布区间为-12~11 mm,Z 方向上误差(0.10±2.77) mm,误差分布区间为-6~6 mm。由于使用真空袋可能存在漏气,患者体位变动、抱头姿势变化等原因,会产生一定范围的位置移动。ICRU 24 号报告指出,靶区照射剂量偏离 5% 就有可能使原发灶失控或并发症增加^[33]。彭倩等^[34]报道宫颈癌靶区中心复位后用 CBCT 配准距离 X、Y、Z 方向误差分布区间分别为-7.6~4.0 mm、-5.7~7.3 mm、-4.3~4.6 mm。丘敏敏等^[35]的研究中,放疗前 3 个方向的摆位误差分别为 X 轴(-0.03±2.06) mm、Y 轴(0.16±2.69) mm、Z 轴(0.18±2.28) mm。在本研究中,Y 方向上摆位误差较大且波动也较大,导致这种误差较大的原因可能是未使用体罩等除真空垫以外的其他固定装置,使患者体位在头脚方向上变化较大。这些在临床精确放疗的实践中必须予以重视,尤其是在 SBRT 少次、大剂量分割放疗技术中,摆位精确、靶区精确显得尤为重要。李晓林等^[36]利用真空垫+立体定位架结合腹压板和真空垫+大体罩固定摆位,能有效减少患者头脚方向的摆位误差,并在一定程度上使患者的体位更加舒适、稳定,且重复性好。

Liu 等^[37]对鼻咽癌的研究中,摆位误差对平均剂量影响大体上无统计学意义,对 GTV 最小剂量影响显著,>3 mm 的误差对 GTV 最小剂量均有影响,>5 mm 的误差对 GTV、CTV 最小剂量均有明显影响,说明>5 mm 的误差对 GTV 的影响较大。本研究结果显示无论位移范围是否≤3 mm 对靶区最小剂量和覆盖率均有明显影响。对于平均剂量,>5 mm 的误差对靶区剂量有明显影响,而≤3 mm 的误差对靶区剂量影响小。造成这种差异可能是由于本研究使用了 PTV 作为目标区域,而 Liu 等^[37]使用的是 GTV 和 CTV 作为目标区域。大体上一致得出的结论为≤3 mm 的摆位误差对靶区剂量的影响比>5 mm 的影响小,但对于最小剂量和覆盖率仍然有明显影响,所以应该尽可能减小摆位误差,以实现精确放疗。

本研究中摆位误差对最大移床和最小移床的剂量分布均匀性和适形度差异均有统计学意义,最大移床

的 HI_{98} 、 HI_{95} 、CI与原计划相比分别增加了40.1%、24.5%和减少了31.6%;最小移床的 HI_{98} 、 HI_{95} 、CI与原计划相比分别增加了4.4%、2.5%和减少了6.2%。说明 HI_{98} 与 HI_{95} 结果相似,摆位误差对HI、CI影响显著,且最大移床对原计划的影响较大。胡杰等^[18]研究表明,如果摆位误差在3个方向均到达5 mm情况下,PTV剂量均匀性和适形度显著降低,低剂量的存在可能导致治疗的失败。本研究病例中有92.3%的病病人的最大位移>5 mm,本研究结果与胡杰等^[18]研究结果类似,均表明摆位误差>5 mm对原计划影响显著。靶区位移>5 mm可能导致高剂量区出现剂量冷点,低剂量区出现剂量热点,从而影响靶区均度性和适形度。

有文献显示在线校正移床参数对降低OAR的剂量具有一定的意义,证明IGRT对于放疗中OAR的保护具有积极作用^[38-40]。本研究结果显示移床参数值对放疗中的OAR指标大部分并无统计学意义,但与原始计划相比,左肾、小肠最大移床值的剂量分布在 D_{mean} 、 D_{max} 上具有统计学意义,右肾最小移床值的剂量分布在 D_{mean} 上具有统计学意义。其原因可能为患者病灶位置不同,以及勾画的OAR数量的不一致性导致样本量少,并不具有方差齐性。

王艳阳等^[38]研究显示单纯调整平移摆位误差前、后旋转误差无变化。Cao等^[41]研究显示SBRT中肝脏肿瘤的实际旋转误差幅度相对较小,不太可能显著影响GTV覆盖,因此可以通过优化平移校正进而补偿旋转误差。但有研究表明为保证食管肿瘤放疗的精确性,当平移误差大于1 mm,旋转误差大于0.5°时要重新纠正6D误差^[42]。本研究中仅对平移方向的移床参数进行了校正,未对治疗中产生的旋转运动进行纠正,但在实际治疗中平移误差和旋转误差是同时存在的并对患者产生影响。

本研究所选案例较少、未使用除真空垫以外的其他固定装置,导致位移偏差较大,故具有一定的局限性。赵漫等^[43]研究中推荐的CI以多个参数的形式,对靶区剂量的适合度、正常组织中高低剂量分布情况、OAR受量以及计划中剂量跌落情况进行定量评估,结合DVH显示信息使计划设计达到更优。而本研究的CI仅使用了ICTU 83号报告^[44]提出的CI计算方法,故本研究具有一定的局限性,可进一步改善。但通过这13例病例证明了校正摆位误差对SBRT的必要性。利用IGRT对摆位误差进行校正,有利于提高靶区均匀性、适形度和靶区覆盖率等,实现精确放射治疗。建议使用发泡胶+腹压板或体膜联合呼吸门控进行体位固定,减少头脚方向上的位移偏差和由于呼吸运动造成的位移偏差,将位移误差尽可能控制在3 mm以内。

【参考文献】

- [1] JEMAL A, BRAY F, CENTER M M, et al. Global cancer statistics[J]. CA Cancer J Clin, 2011, 61(2): 69-90.
- [2] 李雅宁, 陆世培, 彭应林, 等. BodyFIX联合腹压板在肝癌大剂量放疗治疗中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(3): 265-268. LI Y N, LU S P, PENG Y L, et al. Application of BodyFIX combined with abdominal pressure plate in stereotactic body radiotherapy for liver cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(3): 265-268.
- [3] FERLAY J, SHIN H R, BRAY F, et al. Estimates of worldwide burden of cancer in 2008: GLOBOCAN 2008[J]. Int J Cancer, 2010, 127(12): 2893-2917.
- [4] ZHOU J, SUN H C, WANG Z, et al. Guidelines for diagnosis and treatment of primary liver cancer in China (2017 Edition)[J]. Liver Cancer, 2018, 7: 235-260.
- [5] CHENCP. Role of radiotherapy in the treatment of hepatocellular carcinoma[J]. J Clin Transl Hepatol, 2019, 7(2): 183-190.
- [6] GKIKI E, SCHULTHEISS M, BETTINGER D, et al. Excellent local control and tolerance profile after stereotactic body radiotherapy of advanced hepatocellular carcinoma[J]. Radiat Oncol, 2017, 12: 116.
- [7] 孙晓欢, 谭丽娜, 王中飞, 等. 肺癌立体定向体部放疗以靶区为准进行锥形束CT在线配准的可行性研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(3): 282-286. SUN X H, TAN L N, WANG Z F, et al. Feasibility of CBCT online registration by target areas in stereotactic body radiotherapy for lung cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(3): 282-286.
- [8] LIU H, ANDREWS M, MARKOVICH A, et al. Dosimetric effect of uncorrected rotations in lung SBRT with stereotactic imaging guidance[J]. Phys Med, 2017, 42: 197-202.
- [9] 刘凯, 秦永辉, 王多明, 等. 胸段食管癌图像调强放疗的摆位误差和近期疗效评价[J]. 新疆医科大学学报, 2013, 36(1): 29-33. LIU K, QIN Y H, WANG D M, et al. Analysis on the setup errors and short-term efficiency evaluation of image-guided radiation therapy for thoracic esophageal carcinoma [J]. Journal of Xinjiang Medical University, 2013, 36(1): 29-33.
- [10] 王振华, 徐开文. 图像引导调强放疗治疗胸段食管癌的摆位误差分析及疗效观察[J]. 中国现代医生, 2013, 51(35): 158-160. WANG Z H, XU K W. The set-up error analysis and curative effect observation of the image-guided radiation therapy in treating thoracic segment esophageal cancer[J]. China Modern Doctor, 2013, 51(35): 158-160.
- [11] PARK H C, SEONG J, HAN K H, et al. Dose-response relationship in local radiotherapy for hepatocellular carcinoma[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2002, 54(1): 151-155.
- [12] DAWSON L A, MC GINN C J, NORMOLLE D, et al. Escalated focal liver radiation and concurrent hepatic artery fluorodeoxyuridine for unresectable intrahepatic malignancies[J]. J Clin Oncol, 2000, 18(11): 2210-2218.
- [13] GUCKENBERGER M, SWEENEY R A, WILBERT J, et al. Image-guided radiotherapy for liver cancer using respiratory-correlated computed tomography and cone-beam computed tomography[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 71: 297-304.
- [14] KUBO H D, HILL B C. Respiration gated radiotherapy treatment: a technical study[J]. Phys Med Biol, 1996, 41: 83-91.
- [15] SHIMOHI GASHI Y, TOYA R, SAITO T, et al. Tumor motion changes in stereotactic body radiotherapy for liver tumors: an evaluation based on four-dimensional cone-beam computed tomography and fiducial markers[J]. Radiat Oncol, 2017, 12: 61.
- [16] 冉亨勇, 彭海波, 蒲军. 肝癌立体定向体部放射治疗的剂量学研究[J]. 现代肿瘤医学, 2011, 19(8): 167-171. RAN H Y, PENG H B, PU J. Dosimetry study of SBRT in primary hepatocellular carcinoma (PHC)[J]. Journal of Modern Oncology, 2011, 19(8): 167-171.
- [17] 中华人民共和国卫生部. 原发性肝癌诊疗规范(2011年版)[J]. 临床肿瘤学杂志, 2011, 16(10): 929-946. Ministry of Health of the People's Republic of China. Diagnosis, management, and treatment of hepatocellular carcinoma (V2011)[J]. Chinese Clinical Oncology, 2011, 16(10): 929-946.

- [18] 胡杰,董晓庆,林清,等.摆位误差对患者剂量学的影响[J].医疗卫生装备,2017,38(7):89-92.
HU J, DONG X Q, LIN Q, et al. Influence to dosimetry of patient by set-up errors[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2017, 38(7): 89-92.
- [19] 覃仕瑞,张寅,李红菊,等.摆位误差对前列腺癌靶区和危及器官剂量分布的影响研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2019,28(1):37-40.
QIN S R, ZHANG Y, LI H J, et al. Effects of the setup errors on dose distribution of target area and organs at risk for prostate cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(1): 37-40.
- [20] LANGEN K M, POULIOT J, ANEZINOS C, et al. Evaluation of ultrasound-based prostate localization for image-guided radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2003, 57(3): 635-644.
- [21] 张黎,梁健,孙文钊,等.原发性肝癌伴门静脉癌栓立体定向放射治疗的疗效分析[J].中山大学学报(医学科学版),2015,36(4):579-584.
ZHANG L, LIANG J, SUN W Z, et al. Effectiveness of stereotactic body radiotherapy for hepatocellular carcinoma with portal vein tumor thrombosis[J]. Journal of Sun Yat-sen University (Medical Sciences), 2015, 36(4): 579-584.
- [22] YOON H I, LEE I J, HAN K H, et al. Improved oncologic outcomes with image-guided intensity-modulated radiation therapy using helical tomotherapy in locally advanced hepatocellular carcinoma[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2014, 140(9): 1595-1605.
- [23] 陈冬,王仁本.原发性肝癌外放疗临床应用现状[J].中华肿瘤防治杂志,2015,22(1):76-80.
CHEN D, WANG R B. Clinical application of external radiotherapy in hepatocellular carcinoma[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2015, 22(1): 76-80.
- [24] 曾昭冲.原发性肝癌放射治疗现状及前景[J].中国实用外科杂志,2014,34(8):699-702.
ZENG Z C. Radiation therapy for primary hepatocellular carcinoma: current status and prospect[J]. Chinese Journal of Practical Surgery, 2014, 34(8): 699-702.
- [25] 姚文燕,黄剑文,陈炫光,等.螺旋断层放疗图像引导策略的优化探讨[J].中山大学学报(医学科学版),2017,38(6):921-925.
YAO W Y, HUANG W J, CHEN X G, et al. Optimization of strategy for image guided radiotherapy in tomotherapy[J]. Journal of Sun Yat-sen University(Medical Sciences), 2017, 38(6): 921-925.
- [26] 江萍,周舜,王俊杰,等.影像引导下放射治疗脊柱肿瘤六自由度摆位误差分析[J].北京大学学报(医学版),2015,47(6):952-956.
JIANG P, ZHOU S, WANG J J, et al. Errors in six degree-of-freedom pose estimation of spine tumors assessed by image guided radiotherapy[J]. Journal of Peking University(Health Sciences), 2015, 47(6): 952-956.
- [27] 曲颂.锥形束CT图像引导在头颈部及胸腹部肿瘤放射治疗中的应用[D].南宁:广西医科大学,2011.
QU S. Application of cone-beam CT image guidance in radiotherapy of head, neck and chest and abdomen tumors[D]. Nanning: Guangxi Medical University, 2011.
- [28] 尹文晶,孙颖,迟峰,等.应用锥形束CT研究鼻咽癌容积弧形调强放射治疗的摆位误差[J].中山大学学报(医学科学版),2012,33(5):678-682.
YIN W J, SUN Y, CHI F, et al. Analysis of inter-fraction and intra-fraction setup error of nasopharyngeal carcinoma patients treated with volumetric modulated Arc therapy (VMAT) with cone beam CT[J]. Journal of Sun Yat-sen University(Medical Sciences), 2012, 33(5): 678-682.
- [29] 郭蕊,孙颖,黄劲敏,等.鼻咽癌容积旋转调强放疗与常规静态调强放疗的剂量学对比研究[J].中山大学学报(医学科学版),2012,33(6):835-840.
GUO R, SUN Y, HUANG S M, et al. Volumetric modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma: adosimetriccomparison with step-and-shoot IMRT[J]. Journal of Sun Yat-sen University (Medical Sciences), 2012, 33(6): 835-840.
- [30] 张黎,习勉,孙文钊,等.肝癌三维适形、静态调强与容积旋转调强放射治疗的剂量学研究[J].中山大学学报(医学科学版),2012,33(3):402-406.
ZHANG L, XI M, SUN W Z, et al. Dosimetric comparison of 3DCRT, static IMRT, and VMAT for hepatocellular carcinoma[J]. Journal of Sun Yat-sen University (Medical Sciences), 2012, 33(3): 402-406.
- [31] 梁健,黄思娟,张树芝,等.全段食管癌旋转容积调强与固定野静态调强和三维适形放疗计划的剂量学比较[J].中山大学学报(医学科学版),2016,37(4):597-601.
LIANG J, HUANG S J, ZHANG S Z, et al. Dosimetric comparison of VMAT, IMRT, and 3DCRT for treatment of esophagus cancer[J]. Journal of Sun Yat-sen University(Medical Sciences), 2016, 37(4): 597-601.
- [32] 张瑞,习勉,李巧巧,等.胸上段食管癌容积旋转调强和静态调强与三维适形放疗计划的剂量学比较[J].中山大学学报(医学科学版),2012,33(2):260-264.
ZHANG R, XI M, LI Q Q, et al. Volumetric modulated arc therapy, conventional intensity-modulated radiotherapy and three-dimensional conformal techniques for upper thoracic esophageal cancer: a planning comparison study[J]. Journal of Sun Yat-sen University(Medical Sciences), 2012, 33(2): 260-264.
- [33] 胡逸民.肿瘤放射物理学[M].北京:原子能出版社,1999:613-615.
HU Y M. Radiation oncology physics[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1999: 613-615.
- [34] 彭倩,王培,王先良,等.宫颈癌内外照射中基于CBCT外照射摆位误差分析[J].中华放射肿瘤学杂志,2016,25(10):1113-1116.
PENG Q, WANG P, WANG X L, et al. Setup errors of external-beam and intracavitary radiotherapy for cervical cancer: an analysis based on cone-beam computed tomography[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(10): 1113-1116.
- [35] 吕敏敏,任玉峰,钟嘉健,等.基于kV级图像引导放疗在胸部肿瘤中的应用[J].中国当代医药,2017,24(15):69-72.
QIU M M, REN Y F, ZHONG J J, et al. Application of image-guided radiotherapy based on kV in thoracic tumor[J]. China Modern Medicine, 2017, 24(15): 69-72.
- [36] 李晓林,余育贤,甘美珠,等.体位固定技术对放射治疗肝癌患者摆位误差的影响[J].医疗卫生装备,2019,32(6):25-26.
LI X L, YU Y X, GAN M Z, et al. Effect of postural fixation technique on positioning error of patients with hepatocellular carcinoma treated by radiotherapy[J]. Chinese Journal of Medical Device, 2019, 32(6): 25-26.
- [37] LIU G, ZHANG S, MA Y, et al. Effects of error on dose of target region and organs at risk in treating nasopharynx cancer with intensity modulated radiation therapy[J]. Pak J Med Sci, 2016, 32(1): 95-100.
- [38] 王艳阳,傅小龙,夏冰,等.胸部肿瘤患者放疗旋转摆位误差分析[J].中华放射肿瘤学杂志,2010,19(1):44-46.
WANG Y Y, FU X L, XIA B, et al. Evaluation of rotational set-up errors in patients with thoracic neoplasms[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2010, 19(1): 44-46.
- [39] 徐升,张军宁,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,2014,29(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, 29(9): 1187-1189.
- [40] SCHWARZ M, GISKE K, STOLL A, et al. IGRT versus non-IGRT for postoperative head-and-neck IMRT patients: dosimetric consequences arising from a PTV margin reduction[J]. Radiat Oncol, 2012, 7: 133.
- [41] CAO M. Evaluation of rotational errors in treatment setup of stereotactic body radiation therapy of liver cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 84(3): e435-e440.
- [42] 李建成,赵云辉,王笑良,等.CBCT配合6D治疗床对食管癌放疗摆位偏差的纠正[J].肿瘤预防与治疗,2011,24(1):33-35.
LI J C, ZHAO Y H, WANG X L, et al. The rectification of set-up errors for esophageal carcinoma with CBCT and 6D bed[J]. Journal of Cancer Control and Treatment, 2011, 24(1): 33-35.
- [43] 赵漫,胡逸民.IMRT或3DCRT计划评估——适形指数(CI)[J].中华放射肿瘤学杂志,2017,26(10):1177-1181.
ZHAO M, HU Y M. A new set of conformity indices for evaluating intensity-modulated radiotherapy or three-dimensional conformal radiotherapy plans[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(10): 1177-1181.
- [44] ICRU. Prescribing, recording, and reporting intensity-modulated photon-beam therapy(IMRT)[R]. Report No. 83. Bethesda: ICRU, 2010: 10.

(编辑:黄开颜)