

基于RGSC系统的左乳腺癌深吸气屏气放疗的应用及评估

魏夏平¹, 苏洁洪¹, 李琳¹, 安世霞¹, 董彦鑫¹, 黄小伟², 刘叶明¹, 黄明超¹

1. 广州中医药大学金沙洲医院肿瘤放射治疗中心, 广东 广州 510168; 2. 东莞理工学院科学技术处, 广东 东莞 523808

【摘要】目的:分析心脏和肺的受照剂量、治疗时间和摆位精度评估呼吸门控扫描器系统(RGSC)引导实现左乳腺癌术后深吸气屏气(DIBH)放疗的临床价值。**方法:**分别选择20例使用RGSC实现左乳腺癌术后DIBH容积调强弧形放疗的病例和20例左乳腺癌术后自由呼吸(FB)放疗的病例,两组病例的靶区都仅包含胸壁区和锁骨区。获取心脏 V_{20} 、 D_{mean} 和肺 V_{20} 、 V_{10} 、 V_5 、 D_{mean} ;分析靶区配准结果,记录每次治疗时间。**结果:**DIBH和FB放疗的心脏 V_{20} 分别是 $2.36\% \pm 2.16\%$ 、 $7.26\% \pm 3.66\%$ ($P < 0.01$),心脏 D_{mean} 分别是 (3.52 ± 1.10) Gy、 (6.56 ± 1.59) Gy ($P < 0.01$)。左肺 V_{20} 、 V_{10} 、 V_5 、 D_{mean} 分别是 $18.56\% \pm 4.51\%$ vs $23.51\% \pm 4.37\%$ ($P = 0.03$)、 $30.48\% \pm 4.99\%$ vs $37.99\% \pm 5.13\%$ ($P < 0.01$)、 $45.95\% \pm 5.81\%$ vs $52.08\% \pm 12.74\%$ ($P = 0.02$)、 (10.57 ± 1.86) Gy vs (12.43 ± 1.66) Gy ($P = 0.01$);右肺 V_5 、 D_{mean} 分别是 $7.82\% \pm 3.59\%$ vs $18.41\% \pm 11.44\%$ ($P < 0.01$)、 (1.97 ± 0.36) Gy vs (3.08 ± 1.12) Gy ($P < 0.01$)。DIBH和FB放疗的治疗时间为 $181.00(151.00, 229.00)$ s、 $70.2(69.60, 70.20)$ s ($P < 0.01$)。CBCT图像进行6维配准后,在X、Y、Z平移方向和Rx、Rz旋转方向,DIBH放疗的配准误差小于FB放疗,在Ry方向差异没有统计学意义($P > 0.05$)。**结论:**基于RGSC系统实施左乳腺癌术后DIBH放疗可以实现较好的治疗精度,降低肺和心脏的剂量,但明显增加治疗时间。

【关键词】乳腺癌;容积旋转调强放疗;呼吸门控;深吸气屏气

【中图分类号】R815.6;R737.9

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2023)08-0933-05

Application and evaluation of DIBH radiotherapy using RGSC for left-sided breast cancer

WEI Xiaping¹, SU Jiehong¹, LI Lin¹, AN Shixia¹, DONG Yanxin¹, HUANG Xiaowei², LIU Yeming¹, HUANG Mingchao¹

1. Department of Radiation Oncology, Jinshazhou Hospital of Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510168, China;

2. Department of Science and Technology, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China

Abstract: Objective To evaluate the clinical value of RGSC-guided deep inspiration breath hold (DIBH) radiotherapy following surgery for left-sided breast cancer by analyzing the exposure doses to heart and lung, treatment duration, and positioning accuracy. **Methods** After surgery for left-sided breast cancer, 20 cases receiving RGSC-guided DIBH volumetric modulated arc therapy and 20 cases treated with FB radiotherapy were enrolled, and the target areas contained only the chest wall and the clavicle. The V_{20} , D_{mean} of the heart, and the V_{20} , V_{10} , V_5 , D_{mean} of the lung were obtained; the target registration results were analyzed; and the duration of each treatment was recorded. **Results** The V_{20} and D_{mean} of the heart in DIBH radiotherapy and FB radiotherapy were $2.36\% \pm 2.16\%$ vs $7.26\% \pm 3.66\%$ ($P < 0.01$), and (3.52 ± 1.10) Gy vs (6.56 ± 1.59) Gy ($P < 0.01$). The V_{20} , V_{10} , V_5 and D_{mean} of the left lung in the two groups were $18.56\% \pm 4.51\%$ vs $23.51\% \pm 4.37\%$ ($P = 0.03$), $30.48\% \pm 4.99\%$ vs $37.99\% \pm 5.13\%$ ($P < 0.01$), $45.95\% \pm 5.81\%$ vs $52.08\% \pm 12.74\%$ ($P = 0.02$), (10.57 ± 1.86) Gy vs (12.43 ± 1.66) Gy ($P = 0.01$), respectively. The V_5 and D_{mean} of the right lung were $7.82\% \pm 3.59\%$ vs $18.41\% \pm 11.44\%$ ($P < 0.01$) and (1.97 ± 0.36) Gy vs (3.08 ± 1.12) Gy ($P < 0.01$). The duration of DIBH radiotherapy and FB radiotherapy were $181.00(151.00, 229.00)$ s and $70.20(69.60, 70.20)$ s ($P < 0.01$). After six-dimensional registration of CBCT images, the registration errors of DIBH radiotherapy were less than those of FB radiotherapy in the X, Y, Z, Rx, Rz directions, but not in the Ry direction ($P > 0.05$). **Conclusion** RGSC-guided DIBH radiotherapy following surgery for left-sided breast cancer can achieve higher treatment accuracy than FB therapy, and reduce the doses exposed to the lung and heart, but increases treatment duration.

Keywords: breast cancer; volumetric modulated arc therapy; respiratory gating; deep inspiration breath hold

【收稿日期】2023-02-03

【基金项目】国家自然科学基金青年基金(12004410)

【作者简介】魏夏平, 硕士, 研究方向: 肿瘤放射物理, E-mail: wei-xia-ping@163.com

【通信作者】苏洁洪, 工程师, 研究方向: 肿瘤放射物理, E-mail: 573921373@qq.com

前言

放疗是乳腺癌术后的主要治疗方式,其导致的远期并发症,如放射相关心脏病、放射性肺炎等是影响患者生存和预后的重要因素之一^[1-4]。因此,降低心脏、肺等正常组织的受照剂量是减少放疗并发症,提高疗效的有效方法之一,也是当前左乳腺癌术后放疗的研究热点之一^[5-6]。目前,容积调强弧形放疗(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)技术已广泛应用于乳腺癌术后放疗,它既能满足靶区适形度和均匀性的要求,又能降低危及器官的受照剂量^[7-8],缩短治疗时间,提高治疗效率^[9-10]。深吸气屏气(Deep Inspiration Breath Hold, DIBH)技术增大了胸壁靶区与心脏之间的距离,降低了心脏的受照剂量^[11-13],同时还提高了靶区治疗的精度。

瓦里安公司最新的呼吸门控扫描器系统(Respiratory Gating for Scanners, RGSC V1.1)通过红外反射采集患者的呼吸波形曲线,然后将呼吸信息传输到计算机断层成像(Computed Tomography, CT)系统并自动同步到该患者的放疗计划程序^[14-15]。放疗前可根据CT模拟定位时RGSC记录的呼吸波形曲线,使用TrueBeam直线加速器的呼吸门控锥形束计算机断层成像(Cone Beam Computed Tomography, CBCT)采集患者的DIBH图像,对其进行位置修正后开展DIBH治疗。本研究通过RGSC在CT上实现DIBH扫描,在TrueBeam 2.7直线加速器上执行左乳腺癌术后DIBH放疗,分析患者的心脏和肺的剂量、治疗时间和门控CBCT图像配准靶区的准确性,评估RGSC的实际临床价值。

1 资料与方法

1.1 资料与设备

本研究使用瓦里安的TrueBeam2.7直线加速器搭配RGSC,治疗计划系统(Treatment Planning Systems, TPS)为瓦里安的Eclipse V15.6,模拟定位CT为西门子的SOMATOM Confidence四维大孔径模拟定位CT。选取广州中医药大学金沙洲医院2020年5月11日至2022年5月11日的20例左乳腺癌术后DIBH放疗患者和20例左乳腺癌术后自由呼吸(Free Breathing, FB)放疗患者。为降低靶区体积大小对计划设计和危及器官受量带来的影响,入选的2组病例的靶区仅包含胸壁区和锁骨区,且2组病例的靶区体积大小差异不具有统计学意义($P=0.95$)。

1.2 CT模拟定位

所有患者的体位统一为双手上举,仰卧在发泡胶上,胸壁上放置一块5 mm厚的补偿膜,再使用热塑膜固定颈胸部。在热塑膜冷却前,训练患者用鼻子吸气进行DIBH,同时防止热塑膜收缩得过紧影响患者深吸气胸廓的扩展。待热塑膜完全冷却后,在患者的剑突处放置RGSC系统的反射器挡块,然后在RGSC系统上选择该患者的门控类型为DIBH扫描。在开始DIBH CT扫描前,需先观察患者FB曲线的波峰值,然后再将3倍的FB曲线的波峰值设为出束阈值,这样才能使得患者的胸廓足够扩张,增大心脏与胸壁的距离。如图1所示,患者FB曲线的波峰幅度值为0.2 cm,将DIBH的出束幅度阈值设置为0.9 cm,并保持在0.9~1.1 cm幅度值之间出束,治疗时胸廓运动幅度就会控制在0.2 cm以内,此范围内患者乳腺相对位置固定,当患者曲线走向不一致时,如缓慢下降,若胸廓运动幅度超出0.2 cm的阈值范围,加速器就会自动停止出束。

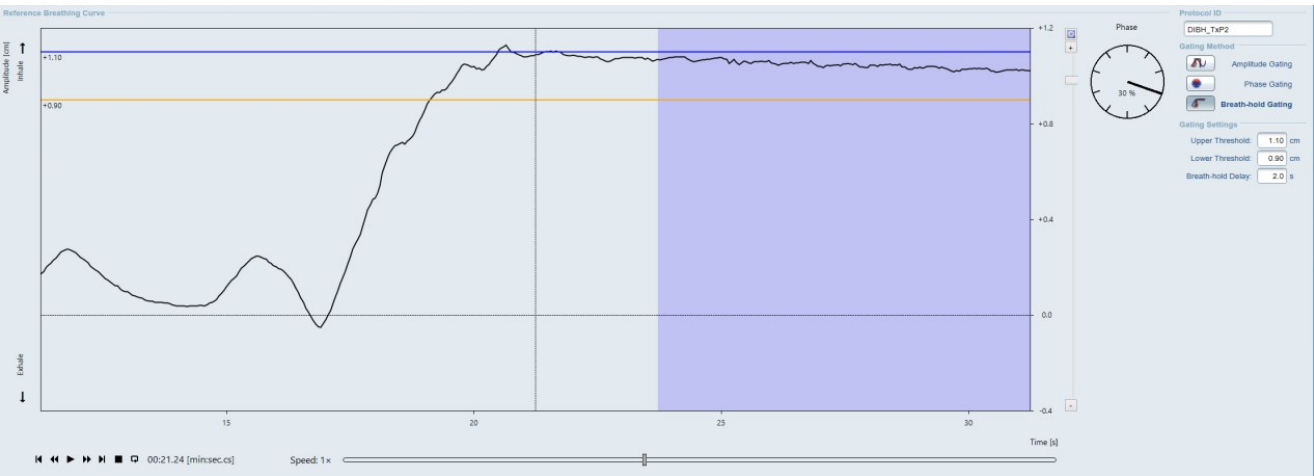


图1 RGSC系统记录的某患者呼吸曲线
Figure 1 Breath curve of a patient recorded by RGSC

反复测试3次,使患者熟悉DIBH的流程,并使其DIBH时间大于25 s,以此保证一次性完成DIBH的CT扫描。在RGSC系统开始记录患者的呼吸曲线后,患者开始DIBH,当呼吸曲线的幅度值达到设置的阈值后,开始CT扫描。扫描条件为120 kV,400 mA,层厚2 mm。

1.3 治疗计划设计

对于DIBH放疗的病例,靶区勾画和治疗计划设计均在DIBH的CT图像上进行;对于FB放疗的病例,靶区勾画和治疗计划设计均在FB的CT图像上进行。计划靶区体积(Planning Target Volume, PTV)的处方剂量为50 Gy/25次,计划要求100%处方剂量线覆盖95%的PTV,危及器官限量符合临床要求,即

左肺 $V_{20}<30\%$ 、 $V_5<60\%$,右肺 $V_5<15\%$;心脏平均剂量(D_{mean}) <8 Gy,其中, V_x 代表危及器官 x Gy剂量对应百分体积。2组病例放疗计划都采用VMAT技术,6X-FFF能量,1 400 MU/min剂量率,使用铅门跟随技术。由于乳腺癌的靶区形状复杂,在机架旋转过程中,靶区在射野方向观(Beam Eyes View, BEV)中的形状变化较大,如果小机头的Y轴不能平行于靶区长轴,会导致X铅门较宽,正常组织受到更多低剂量漏射,因此把常规的双弧拆分为4条子弧,并设置合适的小机头角度^[16]。4条子弧的机架起始角度、小机头角度、铅门设置如图2所示。DIBH计划完成后,在计划的治疗准备界面应用DIBH呼吸波形。

Fields	Dose		Field Alignments		Plan Objectives		Optimization Objectives		Dose Statistics		Reference Points		Calculation Models		Plan Sum							
Group	Field ID	Technique	Machine/Energy	MLC	Field Weight	Scale	Gantry Rtn [deg]	Coll Rtn [deg]	Couch Rtn [deg]	Wedge	Field X [cm]	X1 [cm]	X2 [cm]	Field Y [cm]	Y1 [cm]	Y2 [cm]	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	Calculated SSD [cm]	MU	
I	CBCT	STATIC-I	TrueBeamSN4112 - 6X-FFF		0.000	IEC61217		0.0	0.0	0.0	None	15.0	-7.0	+8.0	24.0	-13.0	+11.0	3.45	8.65	-1.95	96.5	
I	300CW30	ARC-I	TrueBeamSN4112 - 6X-FFF	Arc Dynamic	0.424	IEC61217	300.0 CW 30.0	20.0	0.0	None	16.3	-9.1	+7.2	25.5	-13.4	+12.1	3.45	8.65	-1.95	91.7		
I	30CW150	ARC-I	TrueBeamSN4112 - 6X-FFF	Arc Dynamic	0.679	IEC61217	30.0 CW 150.0	340.0	0.0	None	15.1	-6.2	+8.9	26.0	-13.5	+12.5	3.45	8.65	-1.95	96.6		
I	150CCW30	ARC-I	TrueBeamSN4112 - 6X-FFF	Arc Dynamic	0.633	IEC61217	150.0 CW 30.0	350.0	0.0	None	14.7	-6.6	+8.1	24.9	-13.0	+11.9	3.45	8.65	-1.95	87.7		
I	30CCW300	ARC-I	TrueBeamSN4112 - 6X-FFF	Arc Dynamic	0.281	IEC61217	30.0 CCW 300.0	10.0	0.0	None	14.3	-7.9	+6.4	24.5	-13.0	+11.5	3.45	8.65	-1.95	96.6		

图2 VMAT计划的射野设置
Figure 2 Beam setup of VMAT plan

1.4 DIBH治疗

在患者出束治疗前,使用直线加速器的门控CBCT验证靶区位置,当患者的呼吸曲线达到该患者CT定位时RGSC系统里设置的幅度阈值时,CBCT就出束扫描,如果呼吸曲线超出该阈值区间,CBCT就停止出束。患者躺在治疗床上可以通过头顶上方的视频指导装置实时观看呼吸幅度,主动控制自身呼吸幅度在预设的出束阈值之内,几次DIBH即可获取完整的CBCT图像。获得DIBH的CBCT图像后,使用TrueBeam的6维床来按照PTV为目标进行匹配。靶区匹配准确后,利用6维床来修正摆位误差。执行DIBH放疗时,机器的RGSC系统检测到患者的呼吸曲线达到出束阈值后,直线加速器就会出束,如果呼吸曲线离开了这个阈值区间,机器就会停止出束。

1.5 统计学方法

使用SPSS 23.0统计学分析软件分析数据发现2组病例的靶区体积大小和危及器官剂量学数据都服从正态分布,因此采用独立样本 t 检验分析,数据以均数 \pm 标准差表示。分析发现2组病例的治疗时间和摆位误差数据都不服从正态分布,采用非参数检验中独立样本曼-惠特尼 U 检验分析,数据以 $M(Q1, Q3)$ 表示, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 治疗计划的危及器官剂量

2组共40例患者的DIBH计划和FB计划的PTV体积以及左肺、右肺和心脏的剂量如表1所示。

表1 剂量学参数($\bar{x} \pm s$)
Table 1 Dosimetric parameters (Mean \pm SD)

结构	参数	DIBH计划	FB计划	t 值	P 值
PTV	体积/cm ³	583.88 \pm 199.16	580.50 \pm 161.83	0.06	0.95
左肺	$V_{20}/\%$	18.56 \pm 4.51	23.51 \pm 4.37	-3.15	0.03
	$V_{10}/\%$	30.48 \pm 4.99	37.99 \pm 5.13	-5.16	<0.01
	$V_5/\%$	45.95 \pm 5.81	52.08 \pm 12.74	-2.42	0.02
	D_{mean}/Gy	10.57 \pm 1.86	12.43 \pm 1.66	-3.78	0.01
右肺	$V_5/\%$	7.82 \pm 3.59	18.41 \pm 11.44	-3.98	<0.01
	D_{mean}/Gy	1.97 \pm 0.36	3.08 \pm 1.12	-4.25	<0.01
心脏	$V_{20}/\%$	2.36 \pm 2.16	7.26 \pm 3.66	-4.99	<0.01
	D_{mean}/Gy	3.52 \pm 1.10	6.56 \pm 1.59	-6.83	<0.01

2组病例的PTV体积相似,差异无统计学意义($P=0.95$)。危及器官方面,DIBH计划的左肺 V_{20} 、 V_{10} 、 V_5 、 D_{mean} ,右肺 V_5 、 D_{mean} 以及心脏 V_{20} 、 D_{mean} 都低于FB计划($P<0.05$)。

2.2 治疗时间

从治疗记录中分别读取2组共40例患者的DIBH实际治疗时间和FB实际治疗时间,实际治疗时间是指加速器开始出束到治疗结束的时间,不计治疗摆位时间。DIBH计划的治疗时间为181.00(151.00, 229.00) s,FB计划的治疗时间为70.20(69.60, 70.20) s,DIBH计划的治疗时间远长于FB计划的治疗时间,但其治疗时间在临床可接受的范围内。

2.3 靶区治疗精度

在CBCT图像配准中以PTV为目标来完成图像配准,20例DIBH放疗病例和20例FB放疗病例的453次分次治疗的CBCT图像6维床配准结果如表2所示。DIBH治疗的6维床图像配准误差在X、Y、Z、Rx和Rz方向皆低于FB治疗,差异有统计学意义($P<0.01$),而DIBH治疗的6维床图像配准在Ry方向与FB治疗的差异无统计学意义($P=0.58$)。

表2 DIBH与FB放疗的CBCT配准结果比较[M(Q1, Q3)]

Table 2 Comparison of CBCT registration results between DIBH therapy and FB therapy [M(Q1, Q3)]

6维床坐标轴	DIBH	FB	Z值	P值
X/cm	0.10(0.04, 0.17)	0.23(0.11, 0.39)	12.50	<0.01
Y/cm	0.09(0.03, 0.18)	0.38(0.18, 0.65)	16.53	<0.01
Z/cm	0.05(0.02, 0.11)	0.22(0.11, 0.42)	16.82	<0.01
Rx/°	0.40(0.20, 0.70)	0.85(0.30, 1.70)	9.47	<0.01
Ry/°	0.70(0.30, 1.20)	0.60(0.30, 1.20)	-0.55	0.58
Rz/°	0.30(0.20, 0.70)	0.70(0.30, 1.30)	9.70	<0.01

X为患者左右方向,Y为患者头脚方向,Z为患者胸背方向,Rx为绕着X旋转,Ry为绕着Y旋转,Rz为绕着Z旋转

图3和图4分别为DIBH治疗和FB治疗的平移误差分散点图,FB治疗相较于DIBH治疗,其图像配准后X、Y、Z值较为离散。

3 讨论

左乳腺癌术后DIBH VMAT在满足靶区覆盖率的同时可以降低肺与心脏的剂量^[17-18],减少放疗后副作用的发生。目前,实现DIBH技术的设备有光学表面监测系统(Optical Surface Monitoring System, OSMS)、主动呼吸控制系统(Active Breathing Control, ABC)、实时位置管理系统(Real-time Position Management, RPM)、RGSC等。光学体表引导放射治疗(Surface Guided Radiation Therapy, SGRT)是使用摄像机获取患者DIBH时的体表信息生成体表轮廓,并与参考轮廓进行实时

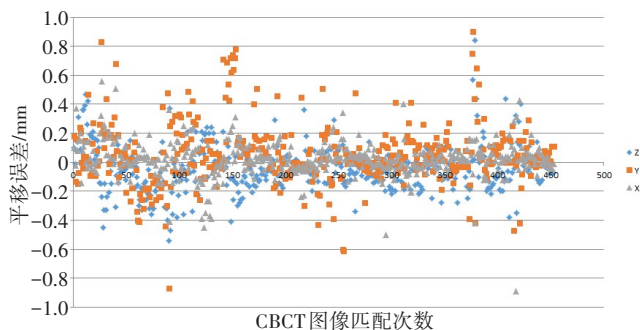


图3 DIBH治疗的X、Y、Z平移误差

Figure 3 Translation errors of X, Y and Z direction in DIBH radiotherapy

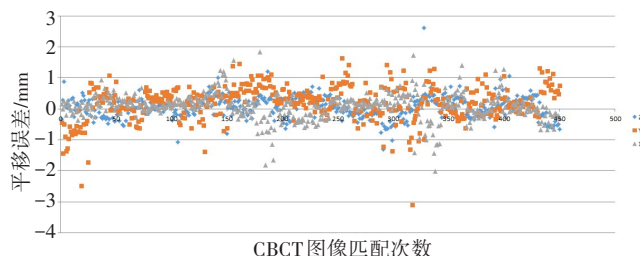


图4 FB治疗的X、Y、Z平移误差

Figure 4 Translation errors of X, Y and Z direction in FB radiotherapy

匹配,引导治疗摆位并在治疗中实时监控,当DIBH实时体表轮廓在参考轮廓阈值之内,加速器出束,若位置误差超出阈值时,直线加速器立刻停止治疗。SGRT摆位可提高摆位准确性和重复性,降低心脏的放疗剂量。Liu等^[19]以及Kügele等^[20]发现通过OSMS实现的左乳腺癌DIBH可以将摆位误差控制在5 mm以内,但是SGRT治疗摆位过程较为复杂,摆位时间较长^[21]。ABC是使用气泵门主动控制肺的吸气量,患者含着呼吸接口并夹住鼻子,气体只能通过呼吸接口进入肺内,治疗师可以在显示器上看到患者的呼吸曲线,当患者吸气量达到设定的阈值时,ABC装置就会触发,加速器开始治疗。Ranger等^[22]发现使用ABC进行乳腺癌DIBH放疗具有很好的重复性,但ABC强迫屏气舒适性较差且每次需要消毒。RPM通过红外摄像机检测放置在患者剑突处的红外反光模体的位移变化,并将其转化为屏幕可视的正弦曲线;设定屏气阈值,当呼吸曲线达到此阈值范围内时,就可以触发加速器出束。Ravindran等^[23]报道了RPM的门控效率和准确性,但郑佳俊等^[24]发现放疗过程中患者的呼吸曲线的基线波动对呼吸预测滤波器性能有影响。在临床治疗中应注意:当呼吸基线出现偏移后,需要重新学习呼吸曲线。RPM系统操作略复杂,使用流程不够简洁。RGSC系统是瓦里安公司在RPM基础上升级的最新呼吸管理系统,RGSC系统集成度更高,更智能化,CT模拟定位时候RGSC系统获取到的呼吸曲线数据可自动同步到对应的患者的治疗计划里,

极大提高治疗的工作效率。

从实验结果来看,利用RGSC系统来实现左乳腺癌术后DIBH放疗可以降低左肺、右肺和心脏的放疗剂量,与FB放疗相比,DIBH治疗的左肺 V_{20} 、 V_{10} 、 V_5 和 D_{mean} 分别降低4.95%、7.51%、6.14%、1.86 Gy;右肺 V_5 、 D_{mean} 分别降低10.59%、1.11 Gy;心脏 V_{20} 、 D_{mean} 分别降低4.9%、3.04 Gy,相关研究也报道了类似的结果^[25-27]。DIBH的治疗时间远长于FB放疗,但在临床上来说,181.00(151.00, 229.00) s出束时间也是可以接受的。DIBH治疗的CBCT图像按PTV为目标进行6维配准后,摆位误差绝对值在X、Y、Z平移方向和Rx、Rz旋转方向比FB治疗分别为降低了0.13 cm、0.29 cm、0.17 cm、0.45°、0.40°,Ry差异则没有统计学意义,这说明了DIBH具有很好的精确性和重复性,但是也要注意在DIBH CT扫描前训练患者,让其掌握DIBH呼吸模式。在DIBH治疗的X、Y、Z平移误差散点图中,376~380次DIBH治疗期间,在Y方向(也就是患者的头脚方向)有5次治疗误差偏大,分析发现这个误差是发生在该患者开始放疗后的前5次治疗中,从CBCT影像上发现该胸廓没有鼓起使肺部吸入足量空气,而是错误地鼓起腹腔,在后续治疗中不断引导患者进行正确的胸式呼吸后,摆位误差逐渐下降。

综上所述,使用RGSC系统来实现左乳腺癌术后DIBH放疗可以降低左肺、右肺和心脏的放疗剂量,同时提高靶区治疗的精度,虽然治疗出束时间增加,但也在临床可接受的范围内。

【参考文献】

- [1] 姜桐桐,真嶋朋子,史铁英. 乳腺癌放疗患者健康坚韧性现状及影响因素研究[J]. 中国实用护理杂志, 2021, 37(14): 1041-1046.
- [2] 中国抗癌协会乳腺癌专业委员会. 中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范(2021年版)[J]. 中国癌症杂志, 2021, 31(10): 954-1040.
- [3] 狄文忆,张煜捷,陈涵波,等. 乳腺癌放疗治疗相关心脏毒性研究进展[J]. 肿瘤学杂志, 2020, 26(5): 448-453.
- [4] 李廷翠,崔鸣,朱丹. 放射性心脏损伤的研究进展[J]. 心血管病学进展, 2021, 42(9): 769-772.
- [5] 袁美芳,赵彪,杨毅,等. 左乳腺癌根治术后sIMRT和VMAT靶区、左肺和心脏不同梯度的剂量学研究[J]. 临床医学研究与实践, 2019, 4(30): 122-123.
- [6] 郭少伟,李庆霞,邢刚,等. 乳腺癌改良根治术后2种放疗技术的剂量学差异[J]. 医学研究生学报, 2019, 32(10): 1055-1058.
- [7] 林权,庄明,曹阳,等. 左乳腺癌保乳术后不同放疗方式的剂量学比较[J]. 现代肿瘤医学, 2019, 27(24): 4455-4458.
- [8] 卢振平,黄江华,石俊田,等. 左乳腺癌根治术后调强放疗治疗野布置方式[J]. 医疗装备, 2021, 34(16): 3-7.
- [9] 高建梅,胡永强. 保乳术后辅助容积旋转调强放疗在早期乳腺癌患者中的应用效果[J]. 临床医学研究与实践, 2021, 6(24): 85-87.
- [10] 柴林燕,周灿,王科峰,等. 基于VMAT的固定钨门技术在左侧乳腺癌改良根治术后放疗中的应用[J]. 现代肿瘤医学, 2020, 28(19): 3409-3413.
- [11] Chai LY, Zhou C, Wang KF, et al. Application of fixed-jaw technique base on VMAT in radiotherapy for left breast cancer after modified radical mastectomy[J]. Journal of Modern Oncology, 2020, 28(19): 3409-3413.
- [12] Ferrari P, Hofer S, Maffei M, et al. P29-A feasibility study: can DIBH reduce dose in left breast cancer radiotherapy? [J]. Phys Med, 2021, 92(S): S155-S156.
- [13] Shagun M, Ashutosh M, Punita L, et al. Cardiac dose reduction using deep inspiratory breath hold (DIBH) in radiation treatment of left sided breast cancer patients with breast conservation surgery and modified radical mastectomy[J]. J Med Imaging Radiat Sci, 2021, 52(1): 57-67.
- [14] 李林涛,王先良,王宇,等. 乳腺癌放疗治疗中深吸气屏气技术的研究进展[J]. 肿瘤学杂志, 2022, 28(1): 63-66.
- [15] Li LT, Wang XL, Wang Y, et al. Advances on deep breath hold technique in radiotherapy of breast cancer [J]. Journal of Chinese Oncology, 2022, 28(1): 63-66.
- [16] Shi CY, Tang XL, Maria C. Evaluation of the new respiratory gating system [J]. Prect Radiat Oncol, 2017, 1(4): 127-133.
- [17] Schick P, Gottschlag H, Fielitz O, et al. Performance evaluation and first clinical experience with the Varian RGSC module for breath detection of 15 lung cancer patients [J]. Z Med Phys, 2019, 29(3): 229-238.
- [18] Velayudham R, Karunakaran B, Sitaraman BS, et al. Hybrid volumetric modulated arc therapy for whole breast irradiation: a dosimetric comparison of different arc designs [J]. Radiol Med, 2019, 124(6): 546-554.
- [19] 吴奇凡,陈巧云,杨怡萍. 深吸气屏气技术在左侧乳腺癌放疗治疗中应用的研究进展[J]. 现代肿瘤医学, 2022, 30(12): 2290-2295.
- [20] Wu QF, Chen QY, Yang YP, et al. Research progress of deep inspiratory breath-holding technique in radiotherapy of left-sided breast cancer [J]. Journal of Modern Oncology, 2022, 30(12): 2290-2295.
- [21] 柴林燕,周灿,蒙渡,等. 深吸气屏气技术在左侧乳腺癌保乳术后动态容积旋转调强放疗中的剂量学分析[J]. 现代肿瘤医学, 2021, 29(21): 3830-3833.
- [22] Cai LY, Zhou C, Meng D. Dosimetric analysis of deep inspiration breath-hold technique with volumetric modulated arc therapy for left breast cancer patients after breast-conserving surgery [J]. Journal of Modern Oncology, 2021, 29(21): 3830-3833.
- [23] Liu MJ, Wei XB, Ding Y, et al. Application of optical laser 3D surface imaging system (Sentinel) in breast cancer radiotherapy [J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 7550.
- [24] Kügele M, Mannerberg A, Bekke SN, et al. Surface guided radiotherapy (SGRT) improves breast cancer patient setup accuracy [J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(9): 61-68.
- [25] 张光伟,钟鹤立,吴何奇,等. 光学表面监测系统引导实现左侧乳腺癌深吸气屏气治疗临床应用及评估[J]. 中国医学物理学杂志, 2021, 38(7): 793-797.
- [26] Zhang GW, Zhong HL, Wu HG, et al. Application and evaluation of OSMS guided DIBH radiotherapy for left-sided breast cancer [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2021, 38(7): 793-797.
- [27] Ranger A, Dunlop A, Grimwood A, et al. Voluntary versus ABC breath-hold in the context of VMAT for breast and locoregional lymph node radiotherapy including the internal mammary chain [J]. Clin Transl Radiat Oncol, 2021, 27: 164-168.
- [28] Ravindran P, Ann WW, Lim Y. SU-F-T-526: a comparative study on gating efficiency of Varian RPM device and Calypso system [J]. Med Phys, 2016, 43(6): 3584.
- [29] 郭佳俊,孙丽,汪琪,等. 呼吸门控放疗中呼吸基线波动对呼吸预测滤波器性能的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2022, 39(2): 152-156.
- [30] Zheng JJ, Sun L, Wang Q, et al. Effects of respiratory baseline fluctuations on performance of breathing predictive filter in respiration-gated radiotherapy [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2022, 39(2): 152-156.
- [31] 胡皓,李敏儿,肖光莉. 深吸气屏气技术在左侧乳腺癌术后放疗中的应用(附41例)[J]. 现代肿瘤医学, 2020, 28(13): 2318-2322.
- [32] Hu H, Li ME, Xiao GL. Implementing deep inspiration breath hold (DIBH) in clinical practice: a dosimetric comparison for left-sided breast cancer (41 cases) [J]. Journal of Modern Oncology, 2020, 28(13): 2318-2322.
- [33] 陈德晔,王淑莲,唐玉,等. 左侧乳腺癌保乳术后采用深吸气屏气放疗的心脏剂量学分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(3): 281-288.
- [34] Chen SH, Wang SL, Tang Y, et al. Cardiac dosimetry of deep inspiration breath-hold technique in whole breast irradiation for left breast cancer after breast-conserving surgery [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(3): 281-288.
- [35] Szilvia G, Zsuzsanna K, Viktor P, et al. Deep-inspirational breath-hold (DIBH) technique in left-sided breast cancer: various aspects of clinical utility [J]. Radiat Oncol, 2021, 16(1): 89.

(编辑:谭斯允)