

· 临床研究 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.04.019

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20231229.1011.002\(2024-01-02\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20231229.1011.002(2024-01-02))

腹式深吸气屏气和自由呼吸在左侧乳腺癌调强放疗中剂量学比较*

张炎,滕芸,唐罗勇,徐宝芹,林啸东,胡望远
(温州医科大学附属金华医院放疗科,浙江金华 321015)

[摘要] **目的** 探讨腹式深吸气屏气(ADIBH)和自由呼吸(FB)在左乳腺癌调强放疗(IMRT)中的剂量学差异。**方法** 选取 2022 年 7 月至 2023 年 5 月该院左乳腺癌术后需行辅助放疗的 22 例患者为研究对象。采集 ADIBH 和 FB 两种呼吸模式 CT 模拟定位图像,勾画计划靶区(PTV)和危及器官,设计 IMRT 计划,比较两种呼吸模式剂量学参数。**结果** ADIBH 和 FB 的 PTV 平均剂量(D_{mean})、均匀性指数(HI)、适形性指数(CI)比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。与 FB 比较,ADIBH 的心脏 D_{mean} 、 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 分别下降 2.95 Gy、12.21%、8.26%、6.56%、5.41%、3.48%,冠状动脉左前降支(LAD)的 D_{mean} 、最大剂量(D_{max})、最小剂量(D_{min})、 V_{40} 分别下降 15.99 Gy、16.10 Gy、0.82 Gy、13.73%,差异有统计学意义($P<0.05$)。与 FB 比较,ADIBH 的同一层面心脏受照剂量和体积明显降低。Pearson 相关性分析显示,ADIBH 的心脏 D_{mean} 与 LAD D_{mean} 呈正相关($r=0.72$),FB 的心脏 D_{mean} 与 LAD D_{mean} 也呈正相关($r=0.69$)。与 FB 比较,ADIBH 的左肺 D_{mean} 下降 0.99 Gy,差异有统计学意义($P<0.05$);但两种呼吸模式左肺 V_5 、右肺 D_{mean} 、右乳 D_{mean} 比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** ADIBH 可有效降低心脏和 LAD 的剂量,起到良好的保护作用。

[关键词] 乳腺癌;放射治疗;腹式深吸气屏气;自由呼吸;辐射剂量

[中图分类号] R737.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)04-0576-06

Dosimetric comparison between abdominal deep inspiration breath hold and free breath in intensity modulated radiotherapy for left breast cancer*

ZHANG Yan, TENG Yun, TANG Luoyong, XU Baoqin, LIN Xiaodong, HU Wangyuan
(Department of Radiotherapy, Affiliated Jinhua Hospital of Wenzhou
Medical University, Jinhua, Zhejiang 321015, China)

[Abstract] **Objective** To explore the dosimetric differences between abdominal deep inspiration breath hold (ADIBH) mode and free breath (FB) mode in intensity modulated radiation therapy (IMRT) for left breast cancer. **Methods** From July 2022 to May 2023, a total of 22 patients who needed adjuvant radiation therapy after left breast cancer surgery in the hospital were selected as the research objects. The simulated computed tomography (CT) positioning images of ADIBH and FB modes were collected, the planned target volume (PTV) and endangered organs were outlined, the IMRT plan was designed, and the dosimetric parameters of the two modes were compared. **Results** There was no significant difference in the mean dose (D_{mean}), homogeneity index (HI) and conformity index (CI) of PTV between the ADIBH and the FB modes ($P>0.05$). Compared with the FB mode, the heart D_{mean} , V_5 , V_{10} , V_{20} , V_{30} and V_{40} in the ADIBH mode decreased by 2.95 Gy, 12.21%, 8.26%, 6.56%, 5.41% and 3.48%, respectively, and the left anterior descending (LAD) coronary artery D_{mean} , maximum dose (D_{max}), minimum dose (D_{min}) and V_{40} decreased by 15.99 Gy, 16.10 Gy, 0.82 Gy and 13.73%, respectively, with statistical significance ($P<0.05$). Compared with the FB mode, the dose and volume of heart irradiation in the ADIBH mode at the same level were significantly reduced. Pearson correlation analysis showed that there was a positive correlation between heart D_{mean} and LAD D_{mean} in the ADIBH mode ($r=0.72$), and between heart D_{mean} and LAD D_{mean} in the FB mode ($r=0.69$). Compared with the FB mode, the left lung D_{mean} of the ADIBH mode decreased by 0.99 Gy, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). However, there was no significant difference in left lung V_5 , right lung D_{mean} and right

breast D_{mean} between the two breathing modes ($P > 0.05$). **Conclusion** ADIBH mode can effectively reduce the dose to the heart and LAD, and play a good protective role.

[Key words] breast cancer; radiation therapy; abdomina deep inspiration breath hold; free breath; radiation dose

目前,乳腺癌已成为最常见的女性恶性肿瘤^[1],术后辅助放射治疗(放疗)可以明显降低局部复发。但随着乳腺癌患者生存期的延长,长期的心脏相关并发症也受到人们的广泛关注。已有研究对既往有心血管病史的乳腺癌患者死因进行分析,发现心血管疾病引发的死亡率甚至超过了乳腺癌相关死亡率^[2],且与右乳腺癌患者相比,左乳腺癌患者放疗后心脏并发症及死亡率都有所增加^[3]。同时由于解剖位置的原因,放疗过程中患侧肺不可能避免地受到一定剂量的照射,从而导致放射性肺炎。既往研究表明,辐射肺体积及剂量与放射性肺炎密切相关。如何减少心肺照射体积和剂量,降低心肺毒性成为目前研究的焦点和热点。本研究通过比较左乳腺癌术后调强放疗(intensity-modulated radiotherapy, IMRT)计划中腹式深吸气屏气(abdominal deep inspiration breath hold, ADIBH)和自由呼吸(free breath, FB)两种呼吸模式下心脏、冠状动脉左前降支(left anterior descending coronary artery, LAD)、左肺等剂量学参数,探讨能尽可能减少心脏和 LAD 照射体积和剂量、同时不增加放射性肺炎风险的呼吸模式,为左乳腺癌术后 IMRT 中最佳呼吸控制技术的选择提供依据,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2022 年 7 月至 2023 年 5 月本院左乳腺癌术后需行辅助放疗的 22 例患者为研究对象。纳入标准:(1)年龄 ≥ 18 岁;(2)经病理诊断明确的左乳腺癌;(3)有术后辅助放疗适应证。排除标准:(1)一般情况较差,不能耐受 ADIBH;(2)依从性差、沟通障碍不能配合的患者。研究对象年龄 41~64 岁,中位年龄 50 岁;行保乳术 14 例,行改良根治术 8 例。在行放疗定位前 2 周在专业医师的指导下反复训练 ADIBH,直到获得满意的可重复性,且每次屏气时间 > 20 s。本研究为前瞻性研究,定位前所有研究对象签署知情同意书,并通过医院伦理委员会审批(批件号 IBR-20220028-R)。

1.2 方法

1.2.1 CT 模拟定位

CT 模拟定位前,再次训练并评估患者是否能较好地按指示完成 ADIBH;患者仰卧位平躺于乳腺托架上,双手上举后握于握杆的固定位置,使患者处于最舒适体位并保证左乳腺或胸壁完全暴露;改良根治术后患者皮肤表面需放置 0.5 cm 厚的放疗用组织补偿物,为保证体位固定不动,所有研究对象使用固定

体膜,由 GE 大孔径定位 CT(型号:Discovery RT)扫描,层厚 2.5 mm,扫描范围为下颌骨至乳腺皱襞下 3~5 cm。采用美国 Varian 公司呼吸控制设备实时检测系统(real-time position management, RPM)实时监测患者的呼吸情况。监测 ADIBH 时,将红外线反射标记放于腹部(肚脐与剑突连线的点)。

1.2.2 靶区及危及器官勾画

所有研究对象有 ADIBH、FB 两种呼吸模式的 CT 图像,每种 CT 图像均需要勾画计划靶区(planning target volume, PTV)、心脏、LAD、双肺及右乳。放疗医师依据体表定位标志、CT 图像及放疗协助组(radiation therapy oncology group, RTOG)乳腺癌图谱^[4]勾画乳腺和胸壁及淋巴引流区的临床靶区(clinical target volume, CTV),CTV 外放 0.5 cm 生成 PTV,依据乳腺癌放疗靶区勾画计划设计指南^[5]图谱勾画 LAD。所有靶区均由 1 名放疗医师勾画,随后由高年资医师审核靶区,以减少不同医师勾画靶区间的差异性,并由 1 名物理师设计 IMRT 计划,便于比较患者在不同呼吸模式下的放疗计划。

1.2.3 治疗计划设计

使用美国 Varian 公司的 Eclipse 治疗计划系统优化放疗计划,分别在 ADIBH、FB 两种呼吸模式下进行计划设计。照射方式为 IMRT,调整优化各野剂量权重,提高靶区剂量均匀性,降低心脏、LAD 和双肺的受照体积,要求消除 105% 处方剂量的高剂量区域,同时 95% 的等剂量曲线至少包绕 $> 95\%$ 的靶区体积。保乳术后:处方剂量为 PTV 50.0 Gy, 2.0 Gy/次,共 25 次;PTV 瘤床 60.0 Gy, 2.4 Gy/次,共 25 次。改良根治术:处方剂量 PTV 50.0 Gy, 2.0 Gy/次,共 25 次。

1.2.4 剂量参数

通过剂量-体积直方图(dose-volume histogram, DVH)获取两组呼吸模式下的靶区及各危及器官的体积。PTV 参数:(1)平均剂量(mean dose, D_{mean});(2)均匀指数(homogeneity index, HI) = $(D_2 - D_{98}) / D_{50}$,其中 D_2 表示 2% 靶区体积受到的照射剂量, D_{98} 表示 98% 靶区体积受到的照射剂量, D_{50} 表示 50% 靶区体积受到的照射剂量;(3)适形指数(conformity index, CI)。危及器官参数:(1)心脏: D_{mean} 、最小剂量(minimum dose, D_{min})、 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} ,其中 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 分别表示 5、10、20、30、40 Gy 剂量所包绕的体积;(2)LAD: D_{mean} 、最大剂量(maximum dose, D_{max})、 D_{min} 、 V_{40} ;(3)左肺 D_{mean} 、 V_5 ;(4)右肺

D_{mean} ; (5) 右乳 D_{mean} 。

1.3 统计学处理

采用 SPSS16.0 软件进行数据分析, 计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 比较采用 t 检验; 计数资料以例数或百分比表示, 比较采用 χ^2 检验; 采用 Pearson 检验分析相关性, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两种呼吸模式下 PTV 剂量学参数比较

ADIBH 和 FB 的 PTV D_{mean} 、HI、CI 比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 1。

表 1 两种呼吸模式下 PTV 剂量学参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

项目	ADIBH ($n=22$)	FB ($n=22$)	t	P
D_{mean} (Gy)	53.47 ± 0.13	53.41 ± 0.12	-0.33	0.75
HI (%)	0.19 ± 0.09	0.20 ± 0.09	-0.08	0.94
CI	1.14 ± 0.09	1.15 ± 0.11	-1.76	0.08

2.2 两种呼吸模式下心脏及 LAD 剂量学参数比较

与 FB 比较, ADIBH 的心脏 D_{mean} 、 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 的平均值分别下降 2.95 Gy、12.21%、8.26%、6.56%、5.41%、3.48%, LAD D_{mean} 、 D_{max} 、 D_{min} 、 V_{40} 的平均值分别下降 15.99 Gy、16.10 Gy、0.82 Gy、13.73%, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 2。与 FB 比较, ADIBH 的同一层面心脏受照剂量和体积明显降低, 见图 1。

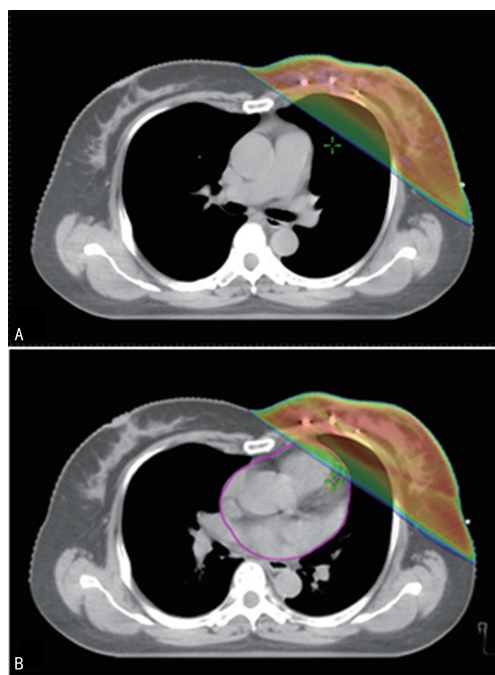
表 2 两种呼吸模式下心脏及 LAD 剂量学参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

项目	ADIBH ($n=22$)	FB ($n=22$)	t	P
心脏				
D_{mean} (Gy)	3.05 ± 1.83	6.00 ± 2.54	-8.26	<0.01
D_{min} (Gy)	0.35 ± 0.23	0.40 ± 0.28	-1.00	0.33
V_5 (%)	11.83 ± 9.38	24.04 ± 14.59	-4.96	<0.01
V_{10} (%)	6.26 ± 5.05	14.52 ± 7.40	-8.53	<0.01
V_{20} (%)	2.83 ± 2.69	9.39 ± 5.00	-7.97	<0.01
V_{30} (%)	1.51 ± 1.33	6.92 ± 3.83	-8.24	<0.01
V_{40} (%)	0.58 ± 0.49	4.06 ± 2.29	-7.99	<0.01
LAD				
D_{mean} (Gy)	13.45 ± 0.76	29.44 ± 0.82	-8.56	<0.01
D_{max} (Gy)	32.59 ± 2.89	48.69 ± 3.69	-5.32	<0.01
D_{min} (Gy)	1.68 ± 0.81	2.50 ± 1.50	-3.64	<0.01
V_{40} (%)	4.63 ± 4.26	18.36 ± 4.56	-7.87	<0.01

2.3 两种呼吸模式的相关性分析

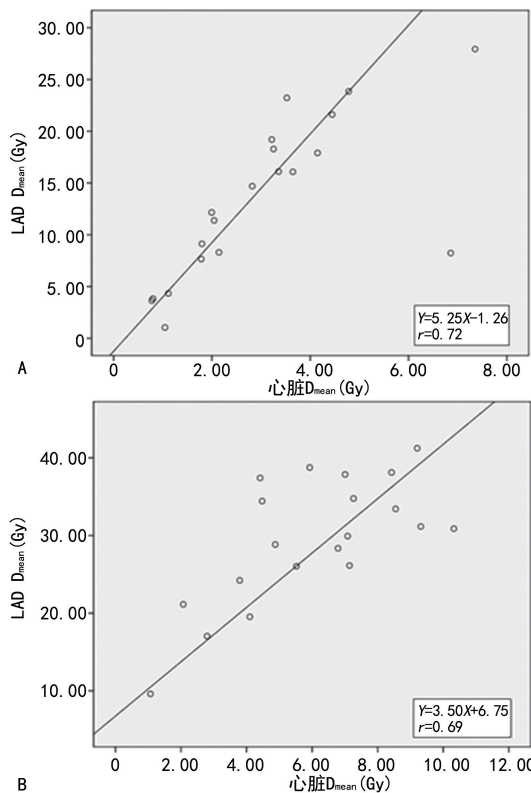
Pearson 相关性分析显示: ADIBH 的心脏 D_{mean} 与 LAD D_{mean} 呈正相关 ($r=0.72, P < 0.05$), FB 的心脏 D_{mean} 与 LAD D_{mean} 也呈正相关 ($r=0.69, P <$

0.05), 见图 2。



A: ADIBH 的横断位; B: FB 的横断位。

图 1 左乳腺癌术后患者分别在 ADIBH 和 FB 的 PTV D_{50} 剂量分布示例



A: ADIBH 的心脏 D_{mean} 和 LAD D_{mean} 呈线性相关; B: FB 的心脏 D_{mean} 和 LAD D_{mean} 呈线性相关。

图 2 两种呼吸模式的心脏 D_{mean} 和 LAD D_{mean} 呈线性相关

2.4 两种呼吸模式下双肺及右乳剂量学参数比较

与 FB 比较, ADIBH 的左肺 D_{mean} 下降 0.99 Gy, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 但两种呼吸模式左肺

V_5 、右肺 D_{mean} 、右乳 D_{mean} 比较,差异无统计学意义 ($P>0.05$),见表 3。

表 3 两种呼吸模式下双肺及右乳剂量学参数比较($\bar{x}\pm s$)

项目	ADIBH ($n=22$)	FB ($n=22$)	t	P
左肺 D_{mean} (Gy)	9.32±2.32	10.31±2.63	-2.92	0.01
左肺 V_5 (%)	35.59±13.65	38.82±15.60	-1.83	0.83
右肺 D_{mean} (cGy)	34.35±2.34	66.87±69.53	-2.52	0.21
右乳 D_{mean} (Gy)	1.22±0.15	1.32±0.21	-1.25	0.23

3 讨 论

乳腺癌目前已成为全球范围发病率最高的恶性肿瘤,术后放疗是综合治疗中至关重要的组成部分。但由于胸腔内重要器官暴露在照射野内,放疗可导致靶区周围危及器官发生相应的并发症,其中最常见的是放射性心脏损伤和肺损伤。

深吸气屏气 (deep inspiration breath hold, DIBH) 是一种呼吸控制技术,通过减少或消除呼吸运动,从而提高放疗的精度。近年研究发现该技术可以使心脏移向后下方,以减少左乳腺癌保乳术后放疗心脏照射体积和剂量^[6-8]。LOCKE 等^[9]研究表明,2018 年呼吸控制技术就已经广泛应用于乳腺癌辅助放疗中,其心脏保护作用已得到临床实践的认可。于舒飞等^[10]研究结果发现,DIBH 可以降低放疗患者的摆位误差,减小 PTV 边界从而降低心脏的放射剂量和损伤风险。还有研究显示,相较于胸式 DIBH,ADIBH 可以进一步降低心脏剂量^[11]。此外,既往研究表明,乳腺癌术后放疗患者中放射性肺炎的发生率约为 3.7%,且发生率与肺组织受照体积及剂量相关。然而国内外研究中关于左乳腺癌术后放疗中 DIBH 对肺的剂量学研究较少,其是否可以降低患侧肺剂量还存在争议。因此本研究比较 ADIBH、FB 两种呼吸模式下心肺的剂量学参数,探索 ADIBH 在左乳腺癌术后放疗中的应用优势。

心脏的辐射暴露是肿瘤治疗中发生冠心病的一个危险因素。乳腺癌放疗导致早期放射性心血管并发症达 20%~40%。既往研究已发现,心血管发生并发症概率与心脏受照剂量相关。BANFILL 等^[12]研究发现虽然许多不同的心脏剂量体积参数被认为与心脏损伤和生存有关,但并没有达成共识。一项回顾性研究发现,心脏 $D_{mean}\geq 10$ Gy 会明显增加心脏不良事件的发生率^[13],且心脏 D_{mean} 每增加 1 Gy,发生冠状动脉疾病的概率会增加 7.4%。多项研究结果显示,心脏 V_{30} 、 V_{40} 是与患者总生存密切相关的剂量学参数^[13-15]。因此,虽然不同心脏剂量体积参数与心脏损伤和生存的关系没有达成共识,但乳腺癌术后放疗可增加心脏病变的风险,且呈剂量依赖性是目前公认

的。因此,任何对心脏辐射剂量减少的方式都可能降低心脏损伤的风险。本研究发现,两种呼吸模式心脏 D_{min} 无差别,但 ADIBH 的心脏 D_{mean} 、 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 均明显更低,因此认为与 FB 比较,ADIBH 可以全面降低心脏受照剂量,这与既往研究^[11,16-17] 结果相似。虽然心脏 D_{mean} 是晚期心脏毒性的最重要的预测因素,然而越来越多研究关注心脏亚结构剂量。这是因为心脏内部的剂量分布并不均匀,高剂量多分布在心脏上半部分,其中就包括 LAD,而 LAD 病变是缺血性心脏病的重要起源之一。尽管 IMRT 计划可以降低心脏 D_{mean} ,但 LAD 仍有存在剂量热点的风险^[18]。因此在 IMRT 计划优化时需要特别关注。GARG 等^[19] 研究指出,LAD 可能是导致放疗晚期心脏毒性的重要结构。KNÖCHELMANN 等^[20] 研究显示,心脏 D_{mean} 与 LAD D_{mean} 、 D_{max} 呈正相关性,为避免额外的心脏风险,应尽量降低 LAD 的剂量。本研究结果显示 LAD D_{max} 为 48.69 Gy,与 GARG 等^[19] 研究结果相似(48.22 Gy),高于 KNÖCHELMANN 等^[20] 研究结果,可能与本研究的研究对象包括改良根治术后及瘤床区局部加量有关。本研究结果提示,同一患者采用 ADIBH 模式可以明显降低 LAD 的剂量,包括 D_{mean} 、 D_{max} 及 D_{min} ;相关性分析结果显示心脏 D_{mean} 与 LAD D_{mean} 呈线性相关,特别是在 ADIBH 中呈高度正相关($r>0.7$),这与近期一项研究^[21] 的结果相似。同时根据国际辐射单位与测量委员会 83 号报告,HI 越小均匀性越好,CI 越接近于 1 适形性越好。本研究中 ADIBH、FB 的 HI、CI 均符合质控要求。两种呼吸模式的 PTV、HI、CI 差异无统计学意义 ($P>0.05$),提示 ADIBH 不会影响靶区剂量和适形性。因此本研究认为 ADIBH 可以降低心脏和 LAD 的受照剂量,与 IMRT 联合可以起到很好的保护心脏和 LAD 的作用,有望降低放疗导致的心脏远期并发症。

肺 D_{mean} 是目前临床中常用的和放射性肺炎发生相关的指标。既往研究发现,双肺 V_5 与放射性肺损伤的发生明显相关,且认为“小剂量大体积”比“大剂量小体积”对肺部造成的损伤更严重^[22]。虽然既往研究结果显示,DIBH 并不能减少患侧肺受照射剂量^[23-25]。但本研究结果显示,左肺 D_{mean} 在 ADIBH 时明显更低,且并不增加患侧肺 V_5 ,提示 ADIBH 可以降低患侧肺受照剂量,可能与 ADIBH 时左肺体积增大有关,这与近期几项研究结果一致^[26-27]。本研究还发现虽然 IMRT 中右肺 D_{mean} 已经很低,但与 FB 比较,ADIBH 右肺 D_{mean} 仍下降了 48.63% (32.52 cGy),差异无统计学意义的原因可能与样本量少有关。两种呼吸模式中右乳 D_{mean} 无差别,提示 ADIBH 不会增加健侧乳腺的辐射剂量,这与既往研究^[26] 结果一致。

综上所述,ADIBH 可以明显降低心脏及 LAD 的

受照剂量,且不增加双肺及健侧乳腺的剂量,是左乳腺癌患者术后 IMRT 中呼吸控制方式的较好选择,也是一种简单、可重复并易于临床应用的技术,可以在适合的患者使用以期降低远期心脏并发症,改善患者的长期生活质量。

参考文献

- [1] SIEGEL R L, MILLER K D, FUCHS H E, et al. Cancer statistics, 2021[J]. *CA Cancer J Clin*, 2021, 71(1): 7-33.
- [2] ABDEL-QADIR H, AUSTIN P C, LEE D S, et al. A population-based study of cardiovascular mortality following early-stage breast cancer [J]. *JAMA Cardiol*, 2017, 2(1): 88-93.
- [3] WEBER PALS J, JANSEN L, MÜLLER O J, et al. Long-term heart-specific mortality among 347 476 breast cancer patients treated with radiotherapy or chemotherapy: a registry-based cohort study [J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(43): 3896-3903.
- [4] NOVIKOV S N, KRZHIVITSKI P I, MELNIK Y S, et al. Atlas of sentinel lymph nodes in early breast cancer using single-photon emission computed tomography: implication for lymphatic contouring [J]. *Radiat Oncol J*, 2021, 39(1): 8-14.
- [5] 国家癌症中心/国家肿瘤质控中心. 乳腺癌术后放疗靶区勾画和计划设计指南 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2022, 31(10): 863-878.
- [6] SONG J, TANG T, CAUDRELIER J M, et al. Dose-sparing effect of deep inspiration breath hold technique on coronary artery and left ventricle segments in treatment of breast cancer [J]. *Radiation Oncol*, 2021, 154: 101-109.
- [7] YAMAUCHI R, MIZUNO N, ITAZAWA T, et al. Dosimetric evaluation of deep inspiration breath hold for left-sided breast cancer: analysis of patient-specific parameters related to heart dose reduction [J]. *J Radiat Res*, 2020, 61(3): 447-456.
- [8] YEH T C, CHI M S, CHI K H, et al. Evaluation of abches and volumetric modulated arc therapy under deep inspiration breath-hold technique for patients with left-sided breast cancer: a retrospective observational study [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(39): e17340.
- [9] LOCKE I, DRINKWATER K. Implementation of royal college of radiologists consensus statements and national institute for health and care excellence guidance: breast radiotherapy practice in the UK [J]. *Clin Oncol*, 2021, 33(7): 419-426.
- [10] 于舒飞, 陈偲晔, 王淑莲, 等. 深吸气屏气和自由呼吸状态在乳腺托架固定下全乳调强放疗中的摆位误差研究 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2020, 29(10): 877-881.
- [11] ZHAO F, SHEN J, LU Z, et al. Abdominal DIBH reduces the cardiac dose even further: a prospective analysis [J]. *Radiat Oncol*, 2018, 13(1): 116.
- [12] BANFILL K, GIULIANI M, AZNAR M, et al. Cardiac toxicity of thoracic radiotherapy: existing evidence and future directions [J]. *J Thorac Oncol*, 2021, 16(2): 216-227.
- [13] ATKINS K M, RAWAL B, CHAUNZWA T L, et al. Cardiac radiation dose, cardiac disease, and mortality in patients with lung cancer [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 73: 2976-2987.
- [14] THOR M, DEASY J O, HU C, et al. Modeling the impact of cardio pulmonary irradiation on overall survival in NRG Oncology trial RTOG0617 [J]. *Clin Cancer Res*, 2020, 26: 4643-4650.
- [15] ZHANG T W, SNIR J, BOLDT R G, et al. Is the importance of heart dose overstated in the treatment of nonsmall-cell lung cancer? A systematic review of the literature [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2019, 104: 582-589.
- [16] CHAN T Y, TANG J I, TAN P W, et al. Dosimetric evaluation and systematic review of radiation therapy techniques for early stage node-negative breast cancer treatment [J]. *Cancer Manag Res*, 2018, 10: 4853-4870.
- [17] FERINI G, MOLINO L, TRIPOLI A, et al. Anatomical predictors of dosimetric advantages for deep-inspiration-breath-hold 3D-conformal radiotherapy among women with left breast cancer [J]. *Anticancer Res*, 2021, 41(3): 1529-1538.
- [18] TESTOLIN A, CICCARELLI S, VIDANO G, et al. Deep inspiration breath-hold intensity modulated radiation therapy in a large clinical series of 239 left-sided breast cancer patients: a dosimetric analysis of organs at risk doses and clinical feasibility from a single center experience [J]. *Br J Radiol*, 2019, 92(1101): 2019 0150.

- [19] GARG A, KUMAR P. Dosimetric comparison of the heart and left anterior descending artery in patients with left breast cancer treated with three-dimensional conformal and intensity-modulated radiotherapy [J]. *Cureus*, 2022, 14(1):e21108.
- [20] KNÖCHELMANN A C, CEYLAN N, BREMER M. Left-sided breast cancer irradiation with deep inspiration breath-hold; changes in heart and lung dose in two periods [J]. *In Vivo*, 2022, 36(1):314-324.
- [21] POITEVIN-CHACÓN M A, RAMOS-PRUDENCIO R, RUMOROSO-GARCÍA J A, et al. Voluntary breath-hold reduces dose to organs at risk in radiotherapy of left-sided breast cancer [J]. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2020, 25(1):104-108.
- [22] DRACHAM C B, MAHAJAN R, RAI B, et al. Toxicity and clinical outcomes with definitive three-dimensional conformal radiotherapy (3DCRT) and concurrent cisplatin chemotherapy in locally advanced cervical carcinoma [J]. *Jpn J Clin Oncol*, 2019, 49(2):146-152.
- [23] ESKANDARI A, NASSERI S, GHOLAMHOSS-EINIAN H, et al. Evaluation of the heart and lung dosimetric parameters in deep inspiration breath hold using 3D slicer [J]. *Radiat Oncol J*, 2020, 38(1):68-76.
- [24] DUMANE V A, SAKSORNCHAI K, ZHOU Y, et al. Reduction in low-dose to normal tissue with the addition of deep inspiration breath hold (DIBH) to volumetric modulated arc therapy (VMAT) in breast cancer patients with implant reconstruction receiving regional nodal irradiation [J]. *Radiat Oncol*, 2018, 13(1):187.
- [25] AL-HAMMADI N, CAPARROTTI P, NAIM C, et al. Voluntary deep inspiration breath-hold reduces the heart dose without compromising the target volume coverage during radiotherapy for left-sided breast cancer [J]. *Radiol Oncol*, 2018, 52(1):112-120.
- [26] CHEN M, ZANG S, YU H, et al. Immobilization-assisted abdominal deep inspiration breath-hold in post-mastectomy radiotherapy of left-sided breast cancer with internal mammary chain coverage [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2021, 11(7):3314-3326.
- [27] KRON T, BRESSEL M, LONSKI P, et al. TROG 14.04: multicentre study of feasibility and impact on anxiety of DIBH in breast cancer patients [J]. *Clin Oncol*, 2022, 34(9):e410-419.

(收稿日期:2023-04-05 修回日期:2023-10-11)

(编辑:袁皓伟)

(上接第 575 页)

- [21] SHANTHANNA H, PAUL J, LOVRICS P, et al. Satisfactory analgesia with minimal emesis in day surgeries: a randomised controlled trial of morphine versus hydromorphone [J]. *Br J Anaesth*, 2019, 122(6):e107-113.
- [22] SUN J, CHEN S R, CHEN H, et al. μ -Opioid receptors in primary sensory neurons are essential for opioid analgesic effect on acute and inflammatory pain and opioid-induced hyperalgesia [J]. *J Physiol*, 2019, 597(6):1661-1675.
- [23] 詹玲, 陈涛, 王晶, 等. 外周阿片受体研究进展 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2013, 19(5):289-292.
- [24] SPAHN V, DEL VECCHIO G, LABUZ D, et al. A nontoxic pain killer designed by modeling of pathological receptor conformations [J]. *Science*, 2017, 355(6328):966-969.
- [25] STÖTZNER P, SPAHN V, CELIK M Ö, et al. Mu-opioid receptor agonist induces Kir3 currents in mouse peripheral sensory neurons-effects of nerve injury [J]. *Front Pharmacol*, 2018, 9:1478.
- [26] 陈金星, 赵亚兵. 氢吗啡酮复合罗哌卡因腹横肌平面阻滞对妇科腹腔镜术后镇痛效果的影响 [J]. *临床麻醉学杂志*, 2018, 34(11):1115-1117.
- [27] 姚景余, 林于南, 张茹, 等. 氢吗啡酮复合罗哌卡因胸椎旁阻滞对胸腔镜肺叶切除术后镇痛的影响 [J]. *中国新药与临床杂志*, 2019, 38(11):669-672.

(收稿日期:2023-09-06 修回日期:2023-12-29)

(编辑:姚雪)