

早期乳腺癌保乳术后3D-CRT与IMRT的剂量学分布及皮肤损害比较

袁细伟, 周蓉蓉, 张子健

中南大学湘雅医院肿瘤科, 湖南 长沙 410008

【摘要】目的:探讨早期乳腺癌保乳术后适形放疗(3D-CRT)与调强放射治疗(IMRT)剂量学分布的优劣及对皮肤损害的影响。**方法:**70例接受早期乳腺癌保乳术治疗的乳腺癌患者依据术后放疗方式分为3D-CRT组($n=35$)和IMRT组($n=35$),处方剂量为50 Gy/25次。观察并计算两组靶区剂量学指标,包括均匀性指数(HI)、适形度指数(CI),并考察靶区 D_{95} (95%靶区体积所受剂量)、 V_{105} (接受105%处方剂量靶区照射体积,其他类推)、 V_{110} ,评估两组危及器官受量,包括心脏、患侧肺、健侧肺及皮肤 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{45} 、 V_{50} 、 D_{mean} 等,并判定两组放疗后10个月内皮肤损害情况。**结果:**两组靶区剂量学指标、危及器官受量比较有统计学意义($P<0.05$),其中IMRT组HI、CI值均更接近1, D_{95} 显著高于3D-CRT组, V_{105} 、 V_{110} 显著低于3D-CRT组($P<0.05$);与3D-CRT组相比,IMRT组心脏、患侧肺、健侧肺照射剂量、平均剂量均明显较低($P<0.05$);IMRT组皮肤 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{45} 、 V_{50} 、 D_{mean} 均明显低于3D-CRT组($P<0.05$)。两组放射性皮肤损伤分布比较有统计学意义($P<0.05$),IMRT组放射性皮肤损伤0~1级分布例数明显较多,2~4级分布例数明显较少。**结论:**与3D-CRT比较,早期乳腺癌保乳术后IMRT有较好的靶区覆盖率,靶区的适形度、剂量均匀性更突出,且对皮肤损害程度更轻。

【关键词】乳腺癌;适形放疗;调强放射治疗;剂量学;皮肤损害

【中图分类号】R737.9;R815

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)06-0574-05

Dosimetric distribution and skin injury of three-dimensional conformal radiotherapy and intensity-modulated radiotherapy in patients following breast-conserving surgery for early-stage breast cancer

YUAN Xiwei, ZHOU Rongrong, ZHANG Zijian

Department of Oncology, Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008, China

Abstract: Objective To compare the dosimetric distribution and skin injury between three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT) and intensity-modulated radiotherapy (IMRT) in postoperative patients receiving breast-conserving surgery for early-stage breast cancer. **Methods** According to the postoperative radiotherapy, 70 patients receiving breast-conserving surgery for early-stage breast cancer were divided into 3D-CRT group ($n=35$) and IMRT group ($n=35$). Both the prescribed dose in 3D-CRT group and IMRT group was 50 Gy/25 times. The dosimetric indexes of target regions, including homogeneity index (HI) and conformal index (CI), were observed and calculated. The D_{95} of target region (dose of 95% of target volume), V_{105} (the target volume receiving 105% prescribed dose) and V_{110} were investigated. The radiation dose of organs-at-risk (OAR) included the V_{10} , V_{20} , V_{30} of heart and ipsilateral lung, the mean dose (D_{mean}) and V_5 of contralateral lung, and the V_{30} , V_{40} , V_{45} , V_{50} and D_{mean} of skin. Herein, we also evaluated the OAR doses and determined the skin injury grade within 10 months after 3D-CRT or IMRT. **Results** The dosimetric indexes of target regions and OAR dose showed statistical differences between the two groups ($P<0.05$). Compared with 3D-CRT group, IMRT group achieved HI and CI which were closer to 1, significantly higher D_{95} , and obviously lower V_{105} and V_{110} ($P<0.05$). The radiation dose and average dose of heart, ipsilateral and contralateral lung, and the V_{30} , V_{40} , V_{45} , V_{50} and D_{mean} of skin were significantly lower in IMRT group, compared with those in 3D-CRT group ($P<0.05$). The distribution of radiation-induced skin injury showed statistical significances between the two groups ($P<0.05$). In IMRT group, the number of cases with radiation-induced skin injury of

【收稿日期】2017-02-03

【基金项目】北大未名临床与康复研究基金(xywm2015140)

【作者简介】袁细伟,副主任医师,研究方向:乳腺癌放疗,E-mail: yuanxiwei3@163.com

【通信作者】周蓉蓉,博士,副教授,研究方向:胸腹部肿瘤放射治疗,E-mail: rrzhou99@yahoo.com

level 0-1 was the most, and the number of cases with skin injury of level 2-4 was significantly less. **Conclusion** Compared with 3D-CRT, IMRT in patients after breast-conserving surgery for early-stage breast cancer can obtain better target coverage rate and better HI and CI, with skin injury of lower level.

Keywords: breast cancer; conformal radiotherapy; intensity-modulated radiotherapy; dosimetry; skin lesion

前言

乳腺癌是世界范围内女性最常见的恶性肿瘤之一,一般好发于中年或绝经后女性,近年来其发病率不断增长,已居女性恶性肿瘤发病率的首位,严重威胁女性患者的身心健康^[1]。乳腺癌患者早期接受保乳治疗已成为首要干预方法,也是欧美发达国家治疗早期乳腺癌的常规模式,对提高患者局部控制率和延长生存年限有显著效果。然而,由于乳腺癌患者在早期乳腺癌保乳术后极易复发,严重影响术后恢复及预后发展。随着患者对保乳治疗后长期生存及生活质量要求的不断提高,术后放疗干预已逐渐成为保乳治疗的重要方法。临床研究报道辅助放疗可将乳腺癌患者保乳术后5年的局部复发率降低10%,将15年的总生存率提高至少5%^[2]。但在放疗干预过程中,过低的照射剂量往往难以达到防止肿瘤复发的目的,过高的剂量则增加严重不良反应(皮肤损害、脏器损害等)发生风险,且受靶区剂量不均匀等的影响^[3-4]。随着近年来乳腺癌保乳术后放疗方案的不断改进与调强技术的逐步开展,对放疗计划方案的不同研究争议较多。基于此,本文以中南大学湘雅医院近期70例患者为对象,探讨早期乳腺癌保乳术后适形放疗(3D-CRT)与调强放射治疗(IMRT)剂量学分布的优劣及对皮肤损害的影响。

1 资料与方法

1.1 病例选择

选取中南大学湘雅医院2014年9月至2016年1月期间收治的70例乳腺癌患者。(1)纳入标准:入院经病理学确诊为乳腺癌,且无远处转移;可接受保乳术;均对本研究目的和意义知情,自愿参加本研究;本研究取得中南大学湘雅医院上级与伦理委员会批准;(2)排除标准:年龄>65岁;合并严重心、肝、肾等重要脏器疾病;存在认知功能障碍;术前接受其它放化疗干预;病历与随访资料不全。依据术后放疗方式分为3D-CRT组($n=35$)和IMRT组($n=35$),3D-CRT组年龄31~62(50.42 ± 10.03)岁,体质量47~67(51.46 ± 3.77) kg,其中未婚或离异5例、已婚30例,左侧乳腺者23例、右侧乳腺者12例,包括浸润性导管癌26例、浸润性小叶癌5例、髓样癌4例;IMRT组年龄31~64

(52.42 ± 9.89)岁,体质量47~67(51.55 ± 3.53) kg,其中未婚或离异7例、已婚28例,左侧乳腺者20例、右侧乳腺者15例,包括浸润性导管癌25例、浸润性小叶癌8例、髓样癌2例。两组年龄、体质量、婚姻状况等基线资料比较无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。

1.2 放疗方法

1.2.1 靶区勾画 由西门子SOMATOM SENSATION OPEN CT扫描,扫描参数为120 kV,200 mA,层厚3 mm,扫描范围为上至锁骨上区,下至乳腺皱褶3 cm以下处。由我院资深放疗科主治医师在三维治疗计划系统(Eclipse6.5)上对送至计划系统工作站的CT影像勾画临床靶区(CTV),涵盖全乳腺区、锁骨上区、胸壁内乳区、手术残腔增加15 mm边界区、胸肌筋膜外;计划靶区(PTV)为体表外轮廓内,在CTV基础上增加10 mm边界,至少超过90%的PTV体积须接受100%的处方剂量。处方剂量:50 Gy/25次,5次/周,两次间隔时间大于6 h。

1.2.2 治疗计划设计 采用6 MV光子线为射线能量,计算网格均为 2.5 mm^3 ,以组织密度非均匀校正计算。3D-CRT组:自动设定照射野中心,即以PTV为几何中心,微调坐标位移值;根据靶区形状确定内外切线野的入射角度后设计成对穿切线野,4~5个非共面射野,楔形板剂量修饰(图1a);尽量减少患侧肺体积,射野前界距皮肤表面1 cm,以防止呼吸运动引起乳腺靶区漏照。IMRT组:在3D-CRT经典布野的基础上采取逆向调强优化生成IMRT计划;在靶区切线方向各偏移约 10° 形成4个野(图1b),在满足靶区剂量要求的情况下尽量减少射野内患侧肺体积;各靶区均设约束剂量(剂量低限、剂量高限),其中瘤床区最小剂量为120%的PTV处方剂量。

1.3 观察指标

(1)靶区剂量学指标:均匀性指数(HI)= $(D_2-D_{98})/D_{pre}$;适形度指数(CI)= $(V_{t,ref}/V_t)\times(V_{t,ref}/V_{ref})$;其中 D_2 为2%靶区体积所受剂量, D_{pre} 为靶区处方剂量, V_t 为靶区体积, $V_{t,ref}$ 为参考等剂量曲线面所涵盖的靶区体积, V_{ref} 为参考等剂量曲线面所涵盖的体积,参考剂量取靶区处方剂量50 Gy/25次。 HI 值越接近1,表示剂量均匀性越好; CI 值越接近于1,表示适形越好。本研究考察靶区 D_{95} (95%靶区体积所受剂量)、 V_{105} 、 V_{110} 。(2)危及器官受量评估:心脏 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} ,患侧肺

平均剂量 D_{mean} 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} , 健侧肺 D_{mean} 、 V_5 , 皮肤 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{45} 、 V_{50} 、 D_{mean} (3)放疗后 10 个月,使用美国放疗肿瘤学研究组(RTOG)放射性皮肤损伤或反应评价分级标准^[5]进行皮肤损害判定:0 级为无变化(无皮肤损害出现),4 级为最严重的放射性皮肤损伤,可见溃疡、出血及坏死,分级越高,皮肤损害越严重。

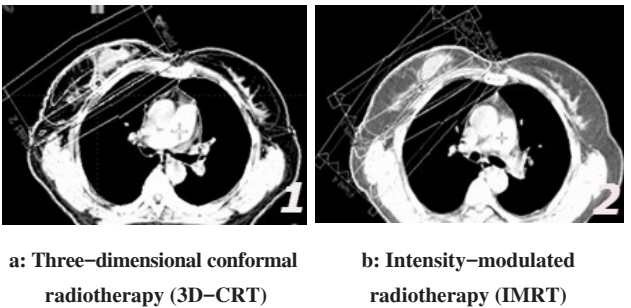


图 1 早期乳腺癌保乳术后 放疗计划射野设计
Fig.1 Radiation field planning after breast-conserving surgery for early-stage breast cancer

1.4 统计学方法

选用统计学软件 SPSS 19.0 分析和处理研究数据,计数资料采用率(%)表示,组间比较进行 χ^2 检验;计量资料采用均数±标准差表示,组间比较进行 t 检验。以 $P<0.05$ 为有显著性差异。

2 结果

2.1 两组靶区剂量学指标比较

两组 HI、CI、 D_{95} 、 V_{105} 、 V_{110} 比较有统计学意义($P<0.05$),其中 IMRT 组 HI、CI 值均更接近 1, D_{95} 显著高于 3D-CRT 组, V_{105} 、 V_{110} 显著低于 3D-CRT 组($P<0.05$)。见表 1。

2.2 两组危及心脏、肺受量比较

两组心脏 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} , 患侧肺平均剂量 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} , 健侧肺 V_5 , 比较有统计学意义($P<0.05$),与 3D-CRT 组相比,IMRT 组照射剂量、平均剂量均明显较低($P<0.05$)。见表 2。

表 1 两组靶区剂量学指标差异比较($\bar{x} \pm s$)
Tab.1 Dosimetric indexes of target regions in 3D-CRT group and IMRT group (Mean±SD)

Group	HI	CI	D_{95}/Gy	D_{105}/Gy	D_{110}/Gy
3D-CRT ($n=35$)	1.05±0.16	0.76±0.04	93.70±1.34	9.11±2.83	2.69±1.21
IMRT ($n=35$)	1.25±0.20	0.88±0.03	97.63±1.29	16.60±4.69	6.46±1.48
t value	4.61	14.19	12.50	8.09	11.67
P value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

HI: Homogeneity index; CI: Conformal index

表 2 两组危及心脏、肺受量差异比较($\bar{x} \pm s$)
Tab.2 Dose of heart and lung in 3D-CRT group and IMRT group (Mean±SD)

Group	Heart			Ipsilateral lung			Contralateral lung	
	$V_{10}/\%$	$V_{20}/\%$	$V_{30}/\%$	$V_{10}/\%$	$V_{20}/\%$	$V_{30}/\%$	$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	$V_5/\%$
3D-CRT ($n=35$)	32.59±7.21	25.08±1.51	21.03±4.77	29.57±5.36	21.33±0.34	25.63±4.29	0.78±0.27	1.26±0.91
IMRT ($n=35$)	25.56±3.38	18.97±1.56	12.90±3.92	24.59±3.30	18.98±0.53	21.70±1.34	0.74±0.30	0.35±0.13
t or χ^2 value	5.22	16.64	7.79	4.68	22.07	5.17	0.59	5.86
P value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.56	0.000

2.3 两组危及皮肤受量比较

IMRT 组皮肤 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{45} 、 V_{50} 、 D_{mean} 均明显低于 3D-CRT 组($P<0.05$,表 3)。

2.4 两组放射性皮肤损伤发生及分级分布比较

两组放射性皮肤损伤分布比较有统计学意义($P<0.05$,表 4),IMRT 组放射性皮肤损伤 0~1 级分布例数明显较多,2~4 级分布例数明显较少。

3 讨论

受乳腺生理组织学特殊性(如乳房形状不规则)的影响,乳腺癌常规放疗技术在临床使用过程中存在明显的局限,难以达到剂量分布均匀性的需要,可由此产生局部热点引发中重度皮肤湿性反应;其次,常规放疗使得部分肺、乳腺癌组织、心脏受到全量照射,部分照射可直接影响健侧乳腺及肝脏,极大增加

表3 两组危及皮肤受量差异比较($\bar{x} \pm s$)Tab.3 Radiation dose of involved skin in 3D-CRT group and IMRT group (Mean \pm SD)

Group	V ₃₀ /%	V ₄₀ /%	V ₄₅ /%	V ₅₀ /%	D _{mean} /Gy
3D-CRT (n=35)	89.59 \pm 2.49	69.40 \pm 2.60	44.93 \pm 4.42	13.40 \pm 2.21	43.47 \pm 0.87
IMRT (n=35)	82.47 \pm 3.18	63.95 \pm 2.74	36.26 \pm 2.33	3.64 \pm 1.20	40.38 \pm 1.69
t or χ^2 value	10.43	8.54	10.27	22.96	9.62
P value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表4 两组放射性皮肤损伤发生及分级分布差异比较(例数)

Tab.4 Occurrence and distribution of radiation-induced skin injury in 3D-CRT group and IMRT group (number of cases)

Group	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
3D-CRT (n=35)	11	7	7	6	4
IMRT (n=35)	19	6	5	3	2
χ^2 value	4.21				
P value	0.040				

了不良反应发生风险。危及器官的照射以皮肤损害最为直接, 变现为放射性皮肤损伤如溃疡、出血、坏死、水肿等, 严重影响手术及放疗效果, 并影响乳腺美观度^[6-7]。近年来乳腺癌保乳术后放疗方案已由传统二维切线照射逐渐被 3D-CRT、IMRT 所替代, 相比与传统放疗计划, 具有以下优势: 非侵入性, 相对于术中放疗及近距离治疗创伤更小; 乳腺靶区剂量的均匀性明显改善; 大大降低肺脏、心脏等高剂量区照射体积, 降低组织和器官损伤风险等^[8]。临床研究报告认为虽然 3D-CRT、IMRT 均可获得较高的照射覆盖率, IMRT 计划在提高靶区剂量分布均匀性和降低高剂量照射及体积方面均明显更有优势, 尤其是对乳腺体积较大的患者可取得更好的剂量学增益^[9]。3D-CRT 技术虽然能完全覆盖靶区, 但正常组织同样可受到高剂量的照射, 易发生损伤, 特别是较大的乳腺体积更易因靶区均匀性较差而发生急性皮肤不良反应^[10]。IMRT 可在计算机系统辅助下的放射治疗过程中提供癌组织及周围器官的解剖结构的图像信息, 实现精准治疗, 并可有效减少由于治疗中体位的摆动、解剖结构变化或器官运动导致的癌变位置的变化, 避免此类因素对剂量分布的影响, 从而创造更优的剂量和更好的体积分布。IMRT 过程中可调节直线射线通量强度, 使多束不同强度的射线束以边界锐利的射野穿过治疗区域, 从而使三维剂量分布更加适形, 减少周围正常组织的受照剂量, 在保证分布均匀性或同步实现组织加量的情况下显著降低周

围正常组织损害风险, 极大避免皮肤照射损害^[11-12]。

本研究发现 3D-CRT 组和 IMRT 组在靶区剂量学指标、危及器官受量方面比较均有显著性差异, 其中 IMRT 组 HI、CI 值均更接近 1, 两组 D₉₅ 均高于 90 Gy, 且 D₉₅ 显著高于 3D-CRT 组, V₁₀₅、V₁₁₀ 显著低于 3D-CRT 组, 提示两组放疗靶区剂量均较高, 照射均基本可完全覆盖靶区, 但 IMRT 组 HI、CI 值更接近 1, 即在均匀性、适形度方面有更显著的优势。与艾秀清等^[13]的临床报道结果相一致。同时, 在本研究结果中, 与 3D-CRT 组相比, IMRT 组心脏、患侧肺、健侧肺照射剂量、平均剂量均明显较低; IMRT 组皮肤 V₃₀、V₄₀、V₄₅、V₅₀、D_{mean} 均明显低于 3D-CRT 组, 表明 IMRT 计划对心脏、患侧肺、健侧肺及皮肤损伤较轻。其安全性可能与 IMRT 高适形度的逆向调强技术有关, 同时, IMRT 亦可通过改善剂量均匀性来降低皮肤的急慢性不良反应, 为皮肤提供更好的保护作用。姚波等^[14]的临床研究结果显示乳腺癌保乳术后放化疗顺序对皮肤反应基本无影响, 但放疗方式的不同可影响放疗皮肤反应, 该研究得出 IMRT 较 3D-CRT 能更好地保护乳腺皮肤。国外 Harsolia 等^[15]的早期随机研究结果也表明放射性皮肤损伤在 IMRT 计划中较 3D-CRT 计划中明显减少。另外, 本研究中两种放疗计划效果均可受患者呼吸运动、摆位误差等无法避免的因素的影响, 临床应选取实际操作技能较高的医师进行。

综上所述, 早期乳腺癌保乳术后 3D-CRT 和 IMRT 均有较好的靶区覆盖率, 但 IMRT 靶区适形度、剂量均匀性及对皮肤保护作用更显著。

【参考文献】

- [1] COATES A S. Tailoring therapies-improving the management of early breast cancer: St Gallen International Expert Consensus on the Primary Therapy of Early Breast Cancer 2015[J]. *Ann Oncol*, 2015, 26(8): 1533.
- [2] 张旭, 李凯, 李娜, 等. 左乳腺癌保乳术后放疗不同外照射技术所致皮肤受照剂量的比较[J]. *现代肿瘤医学*, 2016, 24(20): 3213-3216. ZHANG X, LI K, LI N, et al. Dosimetric comparison of skin dose for different techniques in left-side breast cancer radiotherapy after breast-conserving surgery[J]. *Journal of Modern Oncology*, 2016, 24(20): 3213-3216.
- [3] 沈永莉, 翁剑侠, 葛允荣, 等. 标准化皮肤护理干预对乳腺癌放疗后皮肤损害的疗效观察[J]. *中华全科医学*, 2016, 14(5): 858-859. SHEN Y J, WENG J X, GE Y R, et al. Effect of standardized nursing care on protection of skin from radiation lesions in breast cancer patients[J]. *Chinese Journal of General Practice*, 2016, 14(5): 858-859.
- [4] WANG W. Radiotherapy in the management of early breast cancer[J]. *J Med Radiat Sci*, 2013, 60(1): 40-46.
- [5] TROTTI A, BYHARDT R, STETZ J, et al. Common toxicity criteria: Version 2.0-an improved reference for grading the acute effects of cancer treatment: impact on radiotherapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2000, 47(11): 13-47.
- [6] VERBELEN H, GEBRUERS N, BEYER T, et al. Breast edema in breast cancer patient following breast-conserving surgery and radiotherapy: a systematic review[J]. *Breast Cancer Res Treat*, 2014, 147(3): 463-471.
- [7] WANG S, XING H, LI J, et al. Comparison of acute radiation injury of the skin and cosmetic outcome between SIB-IMRT and late-course boost-IMRT for early breast cancer after breast-conserving surgery[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2014, 90(1): S246.
- [8] 邓春涟. 乳腺癌保乳术后常规放疗与调强放疗的靶区及相关器官放射线受量比较[J]. *山东医药*, 2011, 51(2): 76-77. DENG C L. Comparison of radiation dose between target region and related organs of conventional radiotherapy and intensity-modulated radiotherapy after breast conserving surgery for breast cancer [J]. *Shandong Medical Journal*, 2011, 51(2): 76-77.
- [9] PASHTON SHAYESTEH S, HAGHPARAST A, SEIDI M, et al. Uniformity of dose distribution in target volume in radiotherapy techniques for breast after mastectomy[J]. *J Fasa Univ Med Sci*, 2014, 3(4): 355-362.
- [10] 包虹. 33例 I 期乳腺癌保乳术后不同放射治疗方式的剂量学研究[J]. *中国医学物理学杂志*, 2011, 28(4): 2725-2728. BAO H. Dosimetric study of different radiotherapy techniques in thirty three patients with stage I breast cancer after breast-conserving surgery [J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2011, 28(4): 2725-2728.
- [11] 姚晖, 邱健健, 王芸, 等. 乳腺癌保乳术后部分乳腺三种放疗计划的剂量学比较[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2014, 34(5): 358-361. YAO H, QIU J J, WANG Y, et al. Dosimetric comparison of three techniques in treatment of accelerated partial breast irradiation[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2014, 34(5): 358-361.
- [12] 郝福荣, 吕春燕, 王金鹏, 等. 早期乳腺癌保乳术后简化逆向调强放疗的剂量学研究[J]. *国际肿瘤学杂志*, 2014, 41(9): 692-696. HAO F R, LÜ C Y, WANG J P, et al. Dosage studies on simplified inverse intensity modulated radiotherapy in patients with early-stage breast cancer after breast-conserving surgery [J]. *Journal of International Oncology*, 2014, 41(9): 692-696.
- [13] 艾秀清, 木克代斯·拜克提亚尔, 韩有溪, 等. 乳腺癌根治术后三维调强放疗与三维适形放疗剂量学比较及不良反应观察[J]. *临床和实验医学杂志*, 2014, 13(5): 365-368. AI X Q, MUKEFASI · BAIKETIYAER, HAN Y X, et al. Dosimetry comparison of IMRT and 3D-CRT for breast cancer after radical surgery and adverse reactions observation [J]. *Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 2014, 13(5): 365-368.
- [14] 姚波, 王雅捷, 许卫东, 等. 保乳术后乳腺癌三维适形或调强放疗早期毒副反应分析[J]. *现代肿瘤医学*, 2013, 21(2): 324-327. YAO B, WANG Y D, XU W D, et al. Early toxicity in the skin and lung for breast-conserving cancer patients with three-dimensional conformal or intensity-modulated radiotherapy [J]. *Journal of Modern Oncology*, 2013, 21(2): 324-327.
- [15] HARSOLIA A, KESTIN L, GRILLS I, et al. Intensity-modulated radiotherapy results in significant decrease in clinical toxicities compared with conventional wedge-based breast radiotherapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 68(5): 1375-1380.

(编辑: 黄开颜)

(上接 560 页)

- [24] AGRAWAL S, KUMAR S, LAWRENCE A, et al. Ipsilateral lung dose volume parameters predict radiation pneumonitis in addition to classical dose volume parameters in locally advanced NSCLC treated with combined modality therapy[J]. *South Asian J Cancer*, 2014, 3(1): 13-15.
- [25] GODDU S, CHAUDHARI S H M, PECHENAYA O, et al. Helical Tomotherapy planning for left-sided breast cancer patients with positive lymph nodes: comparison to conventional multiport breast technique[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 73(4): 1243-1251.
- [26] REYNDERS T, TOURNEL K, DE CONINCK P, et al. Dosimetric assessment of static and helical tomotherapy in the clinical implementation of breast cancer treatments[J]. *Radiother Oncol*, 2009, 93(1): 71-79.
- [27] 何宏涛, 王军, 刘青, 等. 急性放射性心脏损伤剂量体积分因素分析[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2014, 21(10): 767-770. HE H T, WANG J, LIU Q, et al. Dose volume factor analysis of acute radiation induced cardiac injury [J]. *Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment*, 2014, 21(10): 767-770.
- [28] HIJAL T, FOURNIER-BIDOZ N, CASTRO-PENA P, et al. Simultaneous integrated boost in breast conserving treatment of breast cancer: a dosimetric comparison of helical tomotherapy and three-dimensional conformal radiotherapy[J]. *Radiother Oncol*, 2010, 94(3): 300-306.
- [29] 杨波, 刘志凯, 侯晓荣, 等. 乳腺癌保乳术后螺旋断层治疗技术的剂量学研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2013, 22(5): 411-413. YANG B, LIU Z K, HOU X R, et al. Study the dosimetric for whole breast irradiation with fixed field IMRT and helical tomotherapy[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2013, 22(5): 411-413.
- [30] GYENES G, GAGLIARDI G, LAX I, et al. Evaluation of irradiated heart volumes in stage I breast cancer patients treated with postoperative adjuvant radiotherapy[J]. *J Clin Oncol*, 1997, 15(4): 1348-1353.
- [31] AGOSTINELLIA S, GARELLIA S, BELLINIA A, et al. Helical tomotherapy of the breast: can thermoplastic immobilization improve the reproducibility of the treatment setup and the accuracy of the delivered dose?[J]. *Phys Med*, 2015, 31(1): 49-53.

(编辑: 薛泽玲)