

左侧乳腺癌 3 种不同放疗计划的剂量学研究

李军 花威 张西志 汪步海 张先稳 汤晓斌 陈达

【摘要】 目的 探讨左侧乳腺癌术后 3 种不同放疗计划的剂量学差异。方法 收集江苏省苏北人民医院 2011 年 3 月至 2013 年 3 月期间收治的 15 例左侧乳腺癌术后患者,分别设计 3D-CRT、dIMRT 和 RapidArc 计划,处方剂量均为 5 000 cGy。利用剂量体积直方图分析临床靶区(CTV)、危及器官(OAR)的评价指标,包括 CTV 的平均剂量 D_{mean} 、最大剂量 D_{max} ($D_{2\%}$) 和最小剂量 D_{min} ($D_{98\%}$),靶区剂量均匀性指数 HI,靶区适合度指数 CI,以及两侧肺接受 5、20、30 Gy 的体积百分比 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 和平均剂量 D_{mean} ,对侧乳腺的平均剂量 D_{mean} 、 $D_{1\%}$,心脏的 D_{mean} 、 V_{10} ,脊髓 1% 体积接受照射的最大剂量 $D_{1\%}$ 。结果 3D-CRT 计划 CTV 各评价指标中除 HI、 $D_{2\%}$ 外,均劣于 dIMRT 和 RapidArc 计划(均 $P < 0.05$)。dIMRT 和 RapidArc 计划相比,仅在 D_{mean} 、 $V_{95\%}$ 的差异有统计学意义(均 $P < 0.05$),且以 RapidArc 计划 D_{mean} 更接近处方剂量, $V_{95\%}$ 覆盖率达 97.44%。对于患侧肺,3 种计划中 3D-CRT 的 V_5 、 V_{10} 最低(均 $P < 0.05$),而 V_{20} 、 V_{30} 最高(均 $P < 0.05$),而 RapidArc 和 dIMRT 患侧肺 V_5 、 V_{10} 稍高(均 $P < 0.05$)。对侧肺和心脏 3D-CRT 各评价指标最低(均 $P < 0.05$)。对侧乳腺 $D_{1\%}$ 则以 dIMRT 和 RapidArc 计划较低,分别为 $(1\ 770.89 \pm 121.16)$ cGy 和 $(1\ 839.92 \pm 92.77)$ cGy。而脊髓 $D_{1\%}$ dIMRT 和 RapidArc 计划较高,分别为 $(1\ 990.12 \pm 61.52)$ cGy 和 $(1\ 927.38 \pm 43.67)$ cGy。正常组织接受剂量为 5~15 Gy 体积时 3D-CRT 计划明显最低,而 RapidArc 计划相对较高。RapidArc 计划的 MU 数和治疗时间最少,仅为 dIMRT 计划的 49.33% 和 55.86%。结论 3 种计划均能够满足乳腺癌术后放疗的临床剂量学要求。dIMRT 和 RapidArc 计划靶区适形度更优,且 RapidArc 计划具有较少总 MU 数和较短的总治疗时间的优势。

【关键词】 乳腺肿瘤; 放射肿瘤学; 放射治疗剂量

Dosimetric study on three different radiotherapy plans for left breast cancer Li Jun, Hua Wei, Zhang Xizhi, Wang Buhai, Zhang Xianwen, Tang Xiaobin, Chen Da. Department of Nuclear Science & Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China
Corresponding author: Chen Da, Email: dachen@nuaa.edu.cn

【Abstract】 **Objective** To investigate the difference in dosimetry among three different plans for postoperative radiotherapy of the left breast cancer. **Methods** Between March 2011 and March 2013, a total of 15 postoperative patients with left breast cancer in Subei People's Hospital of Jiangsu Province received radiotherapy based on 3D-CRT, dIMRT or RapidArc planning, with a prescribed dose of 5 000 cGy. Dose volume histogram analysis was used to show the evaluation measures of clinical target volume (CTV) and organ at risk (OAR) which include the mean (D_{mean}), maximum ($D_{2\%}$) and minimum ($D_{98\%}$) doses of CTV, homogeneity index (HI) and conformity index (CI) of the CTV, percentage volumes with 5 (V_5), 10 (V_{10}), 20 (V_{20}) and 30 (V_{30}) Gy and mean dose (D_{mean}) of the lung, D_{mean} and $D_{1\%}$ of the contralateral breast, D_{mean} and V_{10} of the heart, $D_{1\%}$ of the spinal cord with 1% of its volume subjected to radiation. **Results** Except for the HI and $D_{2\%}$, evaluation measures of 3D-CRT plan were inferior to those

DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-1927.2015.01.012

基金项目:江苏省博士后科研资助计划(1002012C)

作者单位:210016 南京航空航天大学核科学与工程系(李军、汤晓斌、陈达);江苏省苏北人民医院放疗科(李军、花威、张西志、汪步海、张先稳)

通信作者:陈达,Email:dachen@nuaa.edu.cn

of dIMRT and RapidArc plans (all $P < 0.05$). Between dIMRT and RapidArc plan, only D_{mean} and $V_{95\%}$ differed (all $P < 0.05$); with RapidArc plan, the D_{mean} was closer to the prescription dose, and the $V_{95\%}$ coverage rate was as high as 97.44%. At the ipsilateral lung, 3D-CRT yielded the lowest V_5 and V_{10} (all $P < 0.05$) and highest V_{20} and V_{30} (all $P < 0.05$), while the RapidArc and dIMRT yielded moderate values of V_5 and V_{10} (all $P < 0.05$). The 3D-CRT yielded the lowest of each evaluation measure at the contralateral lung and heart (all $P < 0.05$). The contralateral breast $D_{1\%}$ was lower with dIMRT [(1 770.89±121.16) cGy] and RapidArc [(1 839.92±92.77) cGy] plans. The dIMRT and RapidArc plans yielded higher $D_{1\%}$ of the spinal cord [(1 990.12±61.52) cGy and (1 927.38±43.67) cGy, respectively]. The 3D-CRT plan yielded the lowest percentage volumes of normal tissue with the radiation doses ranging from 5 to 15 Gy. RapidArc plan took less MU and treatment time, which account for only 49.33% and 55.86%, respectively, of those in dIMRT plan. **Conclusion** All of the three plans are able to meet the requirement of clinical dosimetry in the postoperative radiotherapy for left breast cancer. The dIMRT and RapidArc plans may be more conformable for the target volume; in addition, and RapidArc plan is more advantageous in terms of less total MU and treatment time.

[Key words] Breast neoplasms; Radiation oncology; Radiotherapy dosage

放射治疗已成为乳腺癌术后治疗的重要手段之一,是实现提高肿瘤局部控制率、降低正常组织并发症的重要手段,放疗治疗的范围主要包括胸壁和锁骨上、下淋巴结区。其放疗技术比较复杂,为避免相邻野的重叠与遗漏,减少正常组织的放射损伤而不遗漏靶区是对放疗技术的基本要求^[1]。常规主要有三维适形放疗(3D-CRT)方法即乳腺切线野照射及淋巴引流区照射,采用1/4切线野和半野等中心照射方法。此方法有靶区适合度较差,放疗实施较复杂的缺点。此外,固定野动态调强放疗(dIMRT)也越来越多被应用于乳腺癌术后放疗。但因治疗计划的设计较为复杂,射野角度的选择对治疗计划的优劣也有重要影响^[2]。而治疗时间的延长会导致相对生物效应的降低、治疗过程中患者体位变化、治疗精度下降等一系列问题。随着软硬件的发展,一种新型的放疗技术:旋转容积调强(VMAT,即瓦里安公司的RapidArc)综合了固定野调强和拉弧照射的优点,已经发展起来。目前剂量学研究表明旋转容积调强能够达到或优于固定野调强。瓦里安Eclipse 8.6计划系统提供的RapidArc技术作为一种旋转容积调强方式早已被Otto等^[3]证实。它通过采用逆向优化算法计算多叶光栅运动状态,同时优化剂量率、机架转速来实现旋转调强治疗。本文将从剂量学上比较3D-CRT、dIMRT、RapidArc在左侧乳腺癌术后放疗中的特性。

1 材料与方法

1.1 病例选择

随机选取本院2011年3月至2013年3月期间

15例乳腺癌术后放疗的病例,患者均为女性,年龄38~65岁,中位年龄45岁,原发病灶均为左侧。

1.2 CT模拟定位及靶区勾画与定义

患者上肢上举抱头,采用真空负压定位袋固定。在GE16排、70 cm孔径定位CT下进行自由平静呼吸并无间断扫描,层厚5 mm。扫描范围为下颌至全胸廓,以完整包括全部邻近正常组织器官如肺、心脏、对侧乳腺、脊髓等。临床放疗医师利用瓦里安Eclipse 8.6版本治疗计划系统勾画出临床靶区(CTV),包括整个患侧胸壁和锁骨上、下淋巴结区;然后定义患侧肺、对侧肺、对侧乳腺、心脏、脊髓为危及器官(OAR)。

1.3 计划设计

CTV处方剂量为95% D_r 5 000 cGy/25 F/5 W。剂量一体积约束条件:CTV≤107%的处方剂量,最小剂量≥95%的处方剂量;限定患侧肺接受20 Gy剂量的体积 $V_{20} < 30\%$,平均剂量 $D_{\text{mean}} < 1 500$ cGy;脊髓最大受量 $D_{\text{max}} < 4 000$ cGy,心脏受量 $V_{40} < 50\%$,对侧肺和对侧乳腺受量尽量少。归一方式为以等中心处剂量归一。

3D-CRT:采用6 mV X线,胸壁采用1/4切线野,锁骨上、下淋巴引流区等中心半野照射。避免漏照或剂量重叠现象。

dIMRT:采用6 mV X线,5野等中心(机架角度为130°、95°、0°、330°、290°)布野方式进行逆向动态优化设计。

RapidArc:采用6 mV X线,双弧(顺时针、逆时针)布野,以切线野各外展10°~25°为起始、终止机架

角度,准直器角度为 5°,治疗床角度为 0°,最大剂量率为 600 MU/min,算法模型均为各向异性分析算法(AAA)。在计划设计的过程中,通过定义剂量成型结构(DSS)优化调节剂量冷点或热点问题^[3]。

1.4 计划评估

利用剂量体积直方图评价以下各指标。(1)CTV:平均剂量 D_{mean} ,最大剂量 D_{max} 用 $D_{2\%}$ (2% 体积所受剂量)表示、最小剂量 D_{min} 用 $D_{98\%}$ (98% 体积所受剂量)表示^[4]。以及至少接受相应处方剂量水平照射的体积百分比 $V_{90\%}$ 、 $V_{95\%}$,靶区剂量均匀性指数(HI): $HI=D_{5\%}/D_{95\%}$,其中 $D_{5\%}$ 和 $D_{95\%}$ 分别是 5% 和 95% 计划靶区体积所受的照射剂量^[5]。HI 值越接近 1 说明该计划的剂量分布均匀性越好。靶区适合度指数(CI), $CI=\frac{V_{CTV95\%}}{V_T} \times \frac{V_{CTV95\%}}{V_{CTV}}$,其中 V_{CTV} 为计划靶区体积, $V_{CTV95\%}$ 为 95% 处方剂量线所包绕的计划靶区的体积, V_T 为 95% 处方剂量包绕的全部体积^[5]。CI 取值在 0~1,越靠近 1 说明靶区适合度越好。(2)OAR:同侧肺接受 5、20、30 Gy 的体积百分比 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 和平均剂量 D_{mean} ,对侧肺的 D_{mean} 、 V_5 、 V_{10} ;对侧乳腺的平均剂量 D_{mean} 、 $D_{1\%}$,心脏的 D_{mean} 、 V_5 、 V_{10} ,脊髓 1% 体积接受照射的最大剂量 $D_{1\%}$ 。(3)评估正常组织的(定义为 CT 扫描覆盖的身体 Body 减去 CTV,即 B-C)低剂量体积 V_5 、 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{30} 。机器跳数(MU)为所有射野跳数相加的总数,治疗时间 T 为加速器实际治疗出束时间。

1.5 统计分析

采用 SPSS 15.0 统计分析软件处理数据。计量数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,对 3 种计划剂量学差异采用配对 t 检验比较。

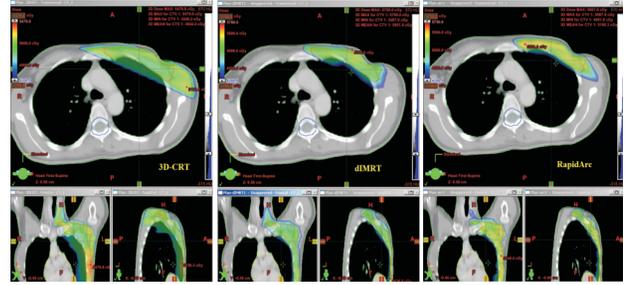
2 结果

2.1 靶区剂量分布

3D-CRT 计划 CTV 各评价指标中除 HI、 $D_{2\%}$ 外,均劣于 dIMRT 和 RapidArc 计划(均 $P<0.05$)。靶区适合度以 3D-CRT 计划最差,见图 1。dIMRT 和 RapidArc 计划相比,仅在 D_{mean} 、 $V_{95\%}$ 的差异有统计学意义(均 $P<0.05$),且以 RapidArc 计划 D_{mean} 更接近处方剂量, $V_{95\%}$ 覆盖率较高达 97.44%。见表 1。

2.2 OAR 剂量学比较

对于患侧肺,3 种计划中 3D-CRT 的 V_5 、 V_{10} 最低(均 $P<0.05$),而 V_{20} 、 V_{30} 最高(均 $P<0.05$),即 dIMRT 和 RapidArc 计划患侧肺受量由 V_5 至 V_{30} 呈先高后低的趋



注:乳腺癌术后放疗患者,55 岁,女,原发病灶为左侧,处方剂量为 50 Gy,分 25 次照射,每次 2 Gy

图 1 某病例 3 种计划的剂量分布图

表 1 3 种计划的 CTV 和 OAR 的剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$, $n=15$)

项目	3D-CRT	dIMRT	RapidArc
CTV			
HI	1.12±0.11	1.10±0.09	1.10±0.10
CI	0.33±0.08 ^{ab}	0.77±0.05	0.79±0.05
D_{mean} (cGy)	4 944.03±92.30 ^{ab}	5 139.32±56.32 ^b	5 051.09±61.91
$D_{2\%}$ (cGy)	5 299.38±51.82	5 455.51±39.11	5 358.88±44.63
$D_{98\%}$ (cGy)	4 518.21±103.40 ^{ab}	4 753.62±66.23	4 768.93±63.47
$V_{90\%}$ (%)	98.24±0.51 ^{ab}	99.28±0.72	99.29±0.37
$V_{95\%}$ (%)	90.22±1.20 ^{ab}	96.05±0.77 ^b	97.44±1.21
患侧肺			
D_{mean} (cGy)	1 385.14±110.34	1 353.21±98.43	1 378.37±83.42
V_5 (%)	41.67±4.20 ^{ab}	72.36±5.71 ^b	76.53±4.29
V_{10} (%)	35.58±3.37 ^{ab}	41.99±3.01 ^b	45.02±2.74
V_{20} (%)	29.45±2.46 ^{ab}	24.46±2.05	25.41±1.98
V_{30} (%)	28.14±1.34 ^{ab}	15.95±1.27	16.17±0.88
对侧肺			
D_{mean} (cGy)	107.77±18.23 ^{ab}	466.22±34.45 ^b	532.18±42.31
V_5 (%)	2.08±0.31 ^{ab}	35.89±2.55	37.47±2.45
V_{10} (%)	0.92±0.14 ^{ab}	11.85±1.34	10.58±1.57
对侧乳腺			
D_{mean} (cGy)	624.71±50.96 ^{ab}	667.57±64.81 ^b	844.65±57.29
$D_{1\%}$ (cGy)	3 934.77±301.47 ^{ab}	1 770.89±121.16	1 839.92±92.77
心脏			
D_{mean} (cGy)	881.53±51.56 ^{ab}	1 302.42±67.22	1 367.39±61.64
V_{10} (%)	20.11±1.45 ^{ab}	46.94±2.06	45.27±2.31
V_5 (%)	15.58±1.82 ^{ab}	17.55±1.49	18.94±1.23
脊髓			
$D_{1\%}$ (cGy)	807.92±145.57 ^{ab}	1 990.12±61.52	1 927.38±43.67

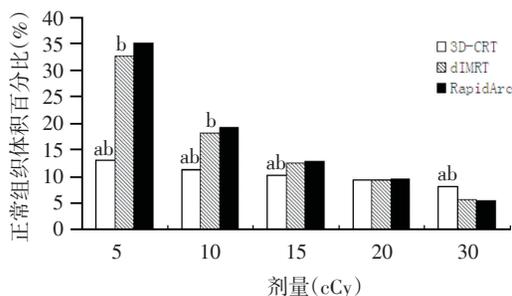
注:与 dIMRT 比较,^a $P<0.05$;与 RapidArc 比较,^b $P<0.05$

势。RapidArc 和 dIMRT 患侧肺 V_5 、 V_{10} 稍高(均 $P<0.05$)。对侧肺和心脏 3D-CRT 各评价指标最低(均 $P<0.05$)。对侧乳腺 $D_{1\%}$ 则以 dIMRT 和 RapidArc 计划较低,分别为(1 770.89±121.16)cGy、(1 839.92±92.77)cGy。而脊髓 $D_{1\%}$ dIMRT 和 RapidArc 计划较高,分别为

(1 990.12±61.52)cGy、(1 927.38±43.67)cGy。见表1。

2.3 OAR 剂量学比较

正常组织接受剂量为5~15 Gy体积时,3D-CRT计划明显最低($P<0.05$),为(13.16±1.34)%。而RapidArc计划相对较高($P<0.05$),为(35.15±2.12)%。3种计划正常组织B-C在 V_{20} 时相近($P>0.05$),9.4%左右。且dIMRT计划RapidArc计划自 V_{15} 以上有相近的趋势。而在 V_{30} 时以3D-CRT计划最高($P<0.05$),为(8.07±0.92)%。3种计划平均MU分别为 496 ± 27 , 827 ± 31 , 408 ± 16 。RapidArc计划相比dIMRT计划MU平均减少了50.67%。见图2。3种计划平均治疗时间T分别为172、213、119 s。RapidArc比dIMRT治疗时间平均缩短了94 s,约是dIMRT治疗时间的55.86%,极大提高了射线利用率。



注:与dIMRT比较,* $P<0.05$;与RapidArc比较,^b $P<0.05$

图2 3种计划正常组织(B-C)低剂量区直方图

3 讨论

调强放射治疗已是当今放疗的主流,但在靶区受呼吸运动影响较为明显的肺癌治疗中应用较少,原因可能是治疗时间较长,患者的体位舒适度下降,不自主运动增加,这些反而会降低治疗的精度,另外可能与乳腺靶区随呼吸的运动发生位移进而影响靶区剂量的分布^[6],而且有报道认为IMRT对乳腺放疗患者的美容效果不理想^[7]。RapidArc是美国瓦里安公司最近几年发展起来的基于旋转照射的动态容积调强放疗技术,它是在加速器机架连续旋转的过程中,通过准直器的动态多叶光栅(MLC)的连续运动,形成一系列连续分布可变的子野,另外再加上连续可变的剂量率,最终形成可变的束流来完成,这属于具有旋转照射优点的动态调强放射治疗方式。RapidArc是建立在Otto^[3]提出的VMAT理论上推出的一种旋转调强技术。全弧机架可旋转近360°,全弧共由177个控制节点组成,机架旋转速度为4.8°/s,最大剂量率为600 MU/min,MLC叶片最大速度为2.5 cm/s,机架旋转一周约75 s。很

多学者已对RapidArc计划在体部和头颈部进行了研究,其结果均表明RapidArc计划可以减少患者的总放疗时间、加速器的出束时间。RapidArc技术的最大优点是在不降低剂量分布的同时,进一步减少机器的治疗时间和MU跳数,从而提高靶区生物效应和单位时间内患者的治疗数量^[8-10]。由于机器跳数MU明显减少,进而降低了加速器准直器机头的散射线数量,理论上也就降低了二次患癌的风险。

本研究对左侧乳腺癌用3种放射治疗技术进行剂量学比较,这3种治疗方式均能满足临床需要。3D-CRT计划的靶区适行度和DVH图比dIMRT和RapidArc计划差,这可能与3D-CRT计划的布野条件有关,但3D-CRT计划的脊髓 $D_{1\%}$ 和患侧肺(包括 V_5 、 V_{30})的受量最低,但其 V_{20} 、 V_{30} ,平均剂量 D_{mean} 较其他计划要高,而且对侧肺、对侧乳腺、心脏等的平均剂量都是最低的,但高剂量点会较高,因为这样的布野方式能最大限度的避开脊髓,但会导致患侧肺的高剂量区和平均剂量的增加。dIMRT的计划也有较好的靶区剂量分布,可以降低靶区的最大剂量,并使靶区的平均剂量 D_{mean} 更接近处方剂量,靶区适行度和DVH图都较好地满足临床需要。但其脊髓 $D_{1\%}$ 受量高于3D-CRT计划和RapidArc计划,患侧肺(包括 V_{20} 、 V_{30} ,平均剂量 D_{mean})的受量最低,但其 V_5 、 V_{10} 介于3D-CRT计划和RapidArc计划之间,而对侧肺、对侧乳腺、心脏等的平均剂量也是介于其他两个计划之间。RapidArc计划的靶区适行度和DVH均优于其他两个计划,而且脊髓 $D_{1\%}$ 受量介于其他两个计划之间,患侧肺的所有指标均高于其他计划,而对侧肺、对侧乳腺、心脏的部分指标(D_{mean} 、 V_5)高于其他计划,也有优于其他计划的指标(V_{10})等。本研究显示dIMRT和RapidArc计划在的剂量分布、均匀性方面较3D-CRT计划有不可比拟的优势,可以保证治疗靶区获得足够的剂量,减少靶区内的剂量冷点和热点,从而防止胸壁肿瘤的复发,对于正常组织的高剂量区体积而言,dIMRT和RapidArc计划较小,而3D-CRT计划的体积较大。正常组织的低剂量区体积dIMRT和RapidArc计划较大,而3D-CRT计划体积较小。造成dIMRT和RapidArc计划正常组织的低剂量区体积较大的原因可能与调强射野数较多、射野散射线多、射野穿过正常组织有关。

综上所述,研究结果表明3种计划间患侧肺 V_{20} 差异不明显,RapidArc计划可显著降低患侧肺的高剂量体积(V_{30}),但由于散射线的增多,dIMRT和

RapidArc 计划相对 3D-CRT 计划也明显提高了低剂量受照体积(V_5 、 V_{10}), RapidArc 计划相对于 3D-CRT 计划提高了对侧肺、对侧乳腺、心脏的平均剂量。但目前不能就肺组织保护方面得出这 3 种计划的优劣, 因为 DVH 参数可以从不同角度去关联放射性损伤。就肺癌患者放疗的 DVH 关联数据, 放射性肺炎发生风险与肺平均剂量(MLD)以及 V_{20} 、 V_{30} 有相关性^[11-12]。而 V_5 、 V_{10} 也是预测放射性肺炎发生的有效因子^[13], 根据本研究 RapidArc 计划对患侧正常组织得到了很好的保护, 这也与相关报道的研究结果类似^[14-16]。对于心脏而言, 3 种计划差异不大。但对于脊髓、对侧肺和对侧乳腺 RapidArc 计划并无优势。在机器跳数 MU 最小和治疗时间 RapidArc 计划最短。因此对于左侧乳腺癌患者而言, 3D-CRT 治疗计划可以满足临床, 但对正常乳腺组织的保护没有优势, 而 RapidArc 计划对正常乳腺组织的保护优势最明显, 并能明显的缩短治疗时间, 患者在治疗过程中的体位移动、呼吸运动引起的器官变化以及不自主的运动等因素的影响也会相应减少, 减轻患者的不舒适感, 减少患者的分次内位移, 最终提高放疗剂量分布精度和治疗效果。同时在 dIMRT 和 RapidArc 计划的设计、优化过程中, 由于要反复的调整优化参数, 完成一个计划要比 3D-CRT 所用的时间要长, 特别是 RapidArc 计划, 其优化过程分为 5 步, 要一个一个的完成, 其不但要优化子野和权重, 因为其优化的物理参数较多、计划系统的版本所限使得优化过程较复杂, 耗时较长降低了工作效率。无论使用 3D-CRT 技术, 还是使用 dIMRT 和 RapidArc 技术, 都可以达到临床的基本要求, 但在治疗的过程中有许多不确定因素因此需要准确地勾画靶区, 严格地实施质量控制和质量保证。RapidArc 计划的靶区剂量学参数与 dIMRT 有一定的优势, 另外在 MU 数、治疗效率和总治疗时间上有了大幅度的提高, 但在对侧肺、心脏、脊髓等方面还需进一步降低受量。

参考文献

- [1] Palma D, Vollans E, James K, et al. Volumetric modulated arc therapy for delivery of prostate radiotherapy: comparison with intensity - modulated radiotherapy and three - dimensional conformal radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 72: 996-1001.
- [2] Kestin LL, Sharpe MB, Frazier RC, et al. Intensity modulation to improve dose uniformity with tangential breast radiotherapy: initial clinical experience [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys,

- 2000, 48: 1559-1568.
- [3] Otto K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc[J]. Med Phys, 2008, 35: 310-317.
- [4] Hodapp N. The ICRU report 83: Prescribing, recording, and reporting photon - beam intensity - modulated radiation therapy (IMRT)[J]. Strahlenther Onkol, 2012, 188: 97-99.
- [5] Yin Y, Chen J, Xing L, et al. Applications of IMAT in cervical esophageal cancer radiotherapy: A comparison with fixed field IMRT in dosimetry and implementation [J]. J Appl Clin Med Phys, 2011, 12: 48-57.
- [6] 李建彬, 王巾帼, 卢洁, 等. 自主呼吸控制对保乳术后全乳调强放疗靶区剂量分布的影响[J]. 中华肿瘤杂志, 2009, 31: 617-621.
- [7] Jagsi R, Ben - David MA, Moran JM, et al. Unacceptable cosmesis in a protocol investigating intensity - modulated radiotherapy with active breathing control for accelerated partial-breast irradiation [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 76: 71-78.
- [8] Shaffer R, Nichol AM, Vollans E, et al. A comparison of volumetric modulated arc therapy and conventional intensity - modulated radiotherapy for frontal and temporal high - grade gliomas [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 76: 1177 - 1184.
- [9] 陈进璇, 尹勇, 刘同海, 等. 颈段食管癌固定野调强与旋转调强放疗计划比较研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2010, 19: 429-433.
- [10] 马长升, 尹勇, 刘同海, 等. 旋转调强与固定野调强治疗肝癌的剂量学比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30: 581-584.
- [11] Hernando ML, Marks LB, Bentel GC, et al. Radiation-induced pulmonary toxicity: a dose - volume histogram analysis in 201 patients with lung cancer [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2001, 51: 650-659.
- [12] Kwa SLS, Lebesque JV, Theuws JCM, et al. Radiation pneumonitis as a function of mean lung dose: an analysis of pooled data of 540 patients [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1998, 42: 1-9.
- [13] 付和谊, 卢冰, 徐冰清, 等. III+IV 期非小细胞肺癌三维适形放疗正常肺 V_5 、 V_{10} 预测放射性肺损伤前瞻性临床研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2009, 18: 439-442.
- [14] Qiu, Chang Z, Wu QJ, et al. Impact of volumetric modulated arc therapy technique on treatment with partial breast irradiation [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 78: 288-296.
- [15] Shaitelman SF, Kim LH, Yan D, et al. Continuous arc rotation of the couch therapy for delivery of accelerated partial breast irradiation: a treatment planning analysis [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 80: 771-778.
- [16] 孙涛, 李建彬, 徐敏, 等. 三维适形、逆向调强及旋转调强放疗技术对部分乳腺外照射的剂量学比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012, 32: 74-79.

(收稿日期: 2013-11-15)

(本文编辑: 刘新艳)