

# 次级准直器对左乳腺癌放射治疗剂量的影响

徐云, 李自康

四川大学华西医院雅安医院·雅安市人民医院 (四川雅安 625000)

**〔摘要〕目的** 研究次级准直器对左乳腺癌放射治疗剂量的影响。**方法** 利用蒙特卡罗程序 (BEAMnrc) 模拟电子和光子在医用直线加速器治疗头中的输运行为, 然后利用 BEAMdp 对相空间文件进行分析, 获得次级准直器对光子能谱及剂量的影响。使用 Oncentra 计划系统, 选取 2020 年 1 月至 2023 年 6 月医院左乳腺癌患者 100 例设计放射治疗计划, 分析次级准直器的角度对放射治疗计划靶区及重要危及器官的影响。**结果** 通过分析标称能量为 6 MV 的医用直线加速器的光子能谱, 发现次级准直器单一 X、Y 方向和整体次级准直器光子数占总光子数比例均不到 0.2%, 表明次级准直器对光子剂量影响较小; 通过改变次级准直器的角度, 发现左乳腺癌放射治疗计划左肺  $V_{20}$ 、 $V_{30}$  和  $D_{mean}$  分别降低了 1.49%、1.48% 和 6.35%, 此外心脏  $V_{10}$ 、 $V_{30}$  和  $D_{mean}$  分别降低了 2.11%、1.59% 和 7.95%。**结论** 在设计左乳腺癌放射治疗计划时, 可通过改变次级准直器的角度降低患者左肺及心脏受照剂量。

**〔关键词〕** 光子; 次级准直器; 左乳腺癌

**〔中图分类号〕** R815 **〔文献标识码〕** B **〔文章编号〕** 1002-2376 (2023) 23-0-0

**Effect of Secondary Collimator on Radiotherapy Dose for Left Breast Cancer** Xu Yun, Li Zikang. Ya 'an People's Hospital, Sichuan University West China Hospital Ya 'an Hospital, Ya 'an Sichuan 625000, China

**〔Abstract〕Objective** To study the effect of secondary collimator on photon dose and radiotherapy dose for left breast cancer. **Methods** Use the BEAMnrc code to simulate the transport of electrons and photons in treatment head of the medical linac, where a phase space file is generated by the simulation at the scoring plane. Analyze the phase space and obtain the photon energy spectrum and dose about the secondary collimator. Using the Oncentra planning system to design left breast cancer radiotherapy plans for 100 patients. By changing the angle of secondary collimator, compare the effect of radiotherapy dose for left breast cancer plans. **Results** About the 6 MV photon energy spectrum, the photon number of single X, Y direction and the whole secondary collimator accounted for less than 0.2% of the total photon number. By changing the angle of the secondary collimator, it was found that the left lung of  $V_{20}$ 、 $V_{30}$  and Dmean is decreased by 1.49% ( $P < 0.05$ ), 1.48% ( $P < 0.05$ ) and 6.35% ( $P < 0.05$ ), besides the heart of  $V_{10}$ 、 $V_{30}$  and Dmean is decreased by 2.11% ( $P < 0.05$ ), 1.59% ( $P < 0.05$ ) and 7.95% ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** Changing the angle of the secondary collimator can reduce the dose of left lung and heart radiation dose in left breast cancer radiotherapy plan.

**〔Key words〕** Monte carlo; Photon; Secondary collimator; Left breast cancer

目前, 乳腺癌已成为全球发病率第一的癌症, 而我国女性乳腺癌患病及病死人数已居世界首位<sup>[1-2]</sup>。放射治疗是临床治疗乳腺癌的主要手段之一<sup>[3]</sup>。在乳腺癌放射治疗中, 降低患者肺及心脏等重要器官的受照剂量, 减少放射性肺炎及放射性心肌损伤等并发症的发生是必要的。因此, 临床对乳腺癌患者的

放射治疗剂量和正常组织受照剂量进行了大量研究<sup>[4-8]</sup>。医用直线加速器治疗头组件包括出束窗、初级准直器、靶、均整器、监控电离室、反射镜和次级准直器。光子线在医用直线加速器治疗机头输运过程中, 初级准直器、均整器和次级准直器是主要影响器件。初级准直器作为限束装置, 对光子线有散射作用, 均整器对光子线能谱影响较大<sup>[9]</sup>。为进一步降低左乳腺癌放射治疗患者左肺及心脏等器官

收稿日期: 2023-07-06

受照剂量, 本研究通过蒙特卡罗程序 (BEAMnrc) 中的粒子历史记录标志 (LATCH)<sup>[10]</sup> 方法, 分析医用直线加速器治疗头的次级准直器中单一 X、Y 方向和整体次级准直器对光子能谱及剂量的影响, 进而分析在放射治疗过程中次级准直器自身、散射及转动等对患者受照剂量的影响, 并在左乳腺癌调强放射治疗计划中, 通过改变次级准直器的角度, 分析计划靶区及正常组织的受照剂量。

## 1 资料及方法

### 1.1 一般资料

选取 2020 年 1 月至 2023 年 6 月于我院接受调强放射治疗 (intensity modulated radiotherapy, IMRT) 的 100 例左乳腺癌术后患者。患者均为女性, 年龄 30~65 岁, 中位年龄 40 岁; 体质量平均 45.6 kg。TNM 分期: II 期 43 例, III 期 38 例, IV 期 19 例。

纳入标准: 符合乳腺癌诊疗标准; 均能满足治疗体位; 所有患者均被告知研究目的并签署知情同意书。排除标准: 存在严重的脏器功能障碍, 不配合研究。

### 1.2 BEAMnrc 模拟参数

使用 BEAMnrc 模拟标称能量为 6 MV 的医用直线加速器 (美国瓦里安公司, 型号: TrueBeam) 治疗头, 材料来源于机头结构数据库。相空间平面的位置在源皮距 (source skin distance, SSD) 为 100 cm 处, 即加速器的等中心平面, 记录参数包括经过该平面粒子的种类、能量、运动方向及粒子到达该平面时经过的加速器组件等。所记录的相空间数据采用 BEAMdp 软件处理, 获得相应的能谱信息。

### 1.3 次级准直器对光子能谱的影响

本研究中初级准直器和均整器均固定不动。在不去除次级准直器模块的情况下, 使用 BEAMnrc 中的 LATCH 方法, 模拟将 X、Y 方向的次级准直器分别对应 LATCH 方法中的位 9 和位 10, 并将其属性设置为当粒子经过该器件时, 该位被设置为 1, 可以被继承。在使用 BEAMdp 程序分析相空间文件的能谱时, 可通过控制 LATCH 中相应位的逻辑关系, 判断相空间中的粒子是否经过 X 或 Y 方向准直器<sup>[11]</sup>。只选择 X 方向准直器对应 LATCH 中的位 9, 统计经过 X 方向准直器的光子, 其能谱记为  $\Phi_X(E)$ 。相应地, 只选择 Y 方向准直器对应 LATCH 中的位 10, 统计经过 Y 方向准直器的光子, 其能谱记为  $\Phi_Y(E)$ 。如果同时选择 X 和 Y 方向准直器对应 LATCH 中的位 9 和位 10, 则统计经过 X 和 Y 方向准直器的光子, 其能谱记为  $\Phi_{X+Y}(E)$ 。同时, 经过 X 和 Y 准直器的光子, 其能谱记为  $\Phi_{XY}(E)$ , 计

算公式如下:

$$\Phi_{XY}(E) = \Phi_X(E) + \Phi_Y(E) - \Phi_{X+Y}(E) \quad (1)$$

其中, 光子的平均能量 ( $\bar{E}$ ) 计算公式如下:

$$\bar{E} = \int_0^{E_{\max}} \Phi(E) E dE / \left( \int_0^{E_{\max}} \Phi(E) dE \right) \quad (2)$$

式中,  $\Phi(E)$  为光子的微分能谱分布,  $E_{\max}$  为能谱中光子的最大能量 (6 MV 医用直线加速器  $E_{\max}$  为 6 MeV)。

### 1.4 计划的设计与评估

患者均采用仰卧位, 双手抱肘上举, 平静自由呼吸, 扫描层厚 5 mm, 扫描范围为颈部、胸部和上腹部, 并将扫描 CT 图像传入放射治疗计划系统。所有靶区由同 1 位副主任医师勾画临床靶区 (clinical target volume, CTV), 包括淋巴结引流区和胸壁区。CTV 外放 5 mm 作为计划靶区 (planning target volume, PTV), 胸壁加 5 mm 补偿膜, 随后逐层勾画重要器官及组织。所有患者处方剂量均为 50 Gy/25 f, 计划要求 95% 的靶区体积接受 100% 的处方剂量。对每例左乳腺癌患者分别设计次级准直器为 0° 方向 (IMRT) 和次级准直器顺应靶区方向 (IMRT-JAW) 两组调强计划。两组计划均采用 Oncentra 4.3 计划系统制作, 射线能量为 6 MV, 床板 0°。剂量网格为 (3×3×3) mm<sup>3</sup>, 最小子野跳数为 5 MU, 最小子野面积为 5 cm<sup>2</sup>、采用直接子野优化方式 DMPO。

### 1.5 评估指标

比较两组计划靶区的适形度指数 (conformity index, CI) 和均匀性指数 (homogeneity index, HI)<sup>[12]</sup>。CI 值在 0~1 之间, 其值越大适形度越好; HI 值越接近 0 均匀性越好。此外, 比较左肺的  $V_5$ 、 $V_{20}$  和平均剂量  $D_{\text{mean}}$ , 心脏的  $V_{10}$ 、 $V_{30}$  和平均剂量  $D_{\text{mean}}$ , 右肺、食管、气管的平均剂量  $D_{\text{mean}}$ , 脊髓、对侧乳腺最大剂量  $D_{\text{max}}$  等。

### 1.6 统计学处理

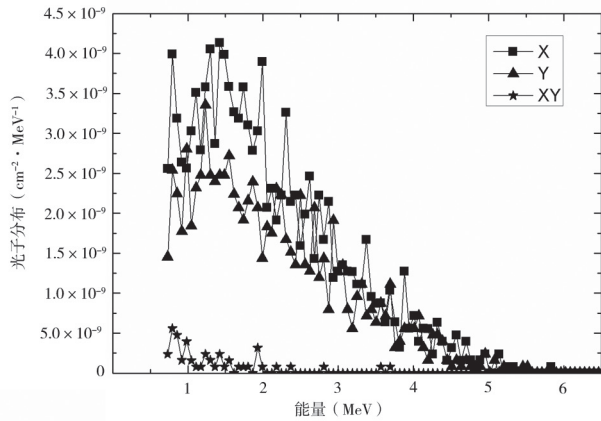
应用 SPSS 23.0 统计软件分析数据。对配对差值符合正态分布等剂量学计量数据用  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用  $t$  检验。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 X、Y 方向的次级准直器对能谱影响

由图 1 可知, 经过 X 方向准直器光子的能谱和经过 Y 方向准直器光子的能谱具有大致相同的分布。表 1 列出了在 3 种情况下能谱的峰位置、能谱峰值和平均能量。在相空间的光子中, 同时经过 X 和 Y 方向准直器光子形成的能谱的峰位置、能谱峰值和平均能量均较低, 一部分原因是由于试验中统

计涨落造成的。经过单一 X、Y 方向次级准直器和整体次级准直器的光子数在总光子数中的占比均不到 0.2%，表明在考虑光子的能谱及剂量时，可以忽略次级准直器自身、散射及转动等的影响。



注：10 × 10 cm<sup>2</sup> 的照射野在 100 cm 处

图 1 经过次级准直器光子的能谱分布

表 1 经过次级准直器光子的能谱参数

能谱参数	$\Phi_X(E)$	$\Phi_Y(E)$	$\Phi_{XY}(E)$	总能谱分布
能谱的峰位置 (MeV)	1.425	1.236	0.795	1.236
能谱峰值 ( $\times 10^{-9}/\text{cm}^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$ )	4.133	3.352	0.558	1 857.400
平均能量 (MeV)	2.070	2.107	1.348	2.256
统计粒子数 ( $\times 10^{-7}/\text{cm}^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$ )	1.224	0.899	0.041	679.500
在总统计粒子数中占比 (%)	0.180	0.132	0.006	100.000

注： $\Phi_X(E)$  为经过 X 方向准直器光子的能谱， $\Phi_Y(E)$  为经过 Y 方向准直器光子的能谱， $\Phi_{XY}(E)$  为经过 X 和 Y 方向准直器光子的能谱

### 2.2 靶区剂量及参数比较

分别对次级准直器为 0° 方向 (IMRT) 和次级准直器顺应靶区方向 (IMRT-JAW) 两组调强计划 PTV 的 HI、CI 比较，差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。

表 2 两组 PTV 剂量参数比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	HI	CI
IMRT	0.180 ± 0.206	0.609 ± 0.057
IMRT-JAW	0.189 ± 0.181	0.601 ± 0.493
t	-1.457	1.070
P	0.173	0.308

注：CI 为适形度指数，HI 为均匀性指数，PTV 计划靶区，IMRT 为调强放射治疗，IMRT-JAW 为次级准直器顺应靶区方向

### 2.3 危及器官剂量及参数比较

对于 IMRT-JAW 计划左肺  $V_{20}$ 、 $V_{30}$  及  $D_{\text{mean}}$  分别降低了 1.49%、1.48% 和 6.35%，差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )；心脏  $V_{10}$ 、 $V_{30}$  及  $D_{\text{mean}}$  分别降低了 2.11%、1.59% 和 7.95%，差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。其他危及器官健侧右肺、对侧乳腺、脊髓、食管等剂量比较，差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )，见表 3。

表 3 两组计划危机器官剂量参数比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

危及器官	IMRT	IMRT-JAW	t	P
左肺				
$V_5$ (%)	48.90 ± 4.63	47.60 ± 4.49	2.099	0.060
$V_{20}$ (%)	34.05 ± 10.22	32.56 ± 11.07	4.664	0.001
$V_{30}$ (%)	19.93 ± 2.00	18.45 ± 2.14	6.368	0.000
$D_{\text{mean}}$ (Gy)	14.02 ± 0.64	13.13 ± 0.62	9.041	0.000
右肺				
$D_{\text{mean}}$ (Gy)	2.55 ± 0.41	2.49 ± 0.37	1.203	0.268
心脏				
$V_{10}$ (%)	22.05 ± 4.72	19.94 ± 4.27	5.153	0.000
$V_{30}$ (%)	11.06 ± 2.21	9.47 ± 1.40	4.195	0.003
$D_{\text{mean}}$ (Gy)	9.68 ± 2.69	8.91 ± 2.42	4.901	0.001
对侧乳腺				
$D_{\text{max}}$ (Gy)	24.12 ± 15.52	25.01 ± 15.80	-1.185	0.266
脊髓				
$D_{\text{max}}$ (Gy)	29.26 ± 4.75	29.55 ± 3.81	-0.637	0.537
食管				
$D_{\text{mean}}$ (Gy)	9.98 ± 1.46	9.89 ± 1.37	1.056	0.322
气管				
$D_{\text{mean}}$ (Gy)	24.52 ± 4.49	24.38 ± 4.38	1.144	0.286

注：IMRT 为调强放射治疗，IMRT-JAW 为次级准直器顺应靶区方向

### 3 讨论

韩俊杰等<sup>[9]</sup>在通过 BEAMnrc 去除次级准直器模块的情况下，发现来自整体次级准直器光子数在总光子数中占比很小。在不去除模块的情况下，进一步验证次级准直器对光子能谱及剂量的影响尚无报道。卜路懿等<sup>[13]</sup>研究发现，固定次级准直器技术能明显提高左乳腺癌放射治疗计划靶区适形度并减少心肺受照剂量。张桂芳等<sup>[14]</sup>研究表明，固定次级准直器能够降低心肺受照剂量。对于很多放疗计划系统，在无法固定次级准直器的情况下，通过合理改变次级准直器角度降低左乳腺癌患者左肺及心脏等重要器官的受照剂量尚未见详细报道。本研究在不去除次级准直器模块的情况下，采用 BEAMnrc 粒子历史记录标态方法，进一步证明了通过单一 X、Y 方向次级准直器和整体次级准直器光子数在总光子数中占比均不到 0.2%，表明在设计左乳腺癌放射治疗计划时，可以忽略次级准直器自身、散射和转动等对剂量的影响。设计左乳腺癌 IMRT 计划时，由于 Oncentra 4.3 计划系统不能固定次级准直器，通过合理调整次级准直器角度顺应靶区，可以降低患者左肺及心脏的受照剂量，从而减少患者左肺及心脏的并发症。由于本研究放疗计划系统只有 1 套，还需增加放疗计划系统数量进一步验证本研究的结果。

综上所述，在设计左乳腺癌放射治疗计划时，可通过改变次级准直器的角度降低患者左肺及心脏受照剂量。

[参考文献]

[1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209–249.

[2] Arnold M, Morgan E, Runggay H, et al. Current and future burden of breast cancer: global statistics for 2020 and 2040[J]. Breast, 2022(66): 15–23.

[3] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999: 544–545.

[4] Nguyen K, McConnell E, Edwards O, et al. GD2+cancer stem cells in triple-negative breast cancer: mechanisms of resistance to breast cancer therapies[J]. Cancer Drug Resist, 2022, 5(3): 721–726.

[5] Acobse JN, Duane FK, Boekel NB, et al. Radiation Dose-Response for Risk of Myocardial Infarction in Breast Cancer Survivors[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2019, 103(3): 595–604.

[6] Jain N, Sharma R, Sachdeva K, et al. Conventional versus different hypofractionated radiotherapy dosage schedules in postmastectomy advanced breast cancer[J]. J Med Phys, 2022, 47(2): 141–144.

[7] Sigaudi V, Zannetti M, Ferrara E, et al. Ultra-Hypofractionation for Whole-Breast Irradiation in Early

Breast Cancer: Interim Analysis of a Prospective Study[J]. Biomedicine, 2022,10(10): 2568.

[8] Supakalin N, Pese M, Thamrongnantasakul K, et al. Comparison of Different Radiotherapy Planning Techniques for Breast Cancer after Breast Conserving Surgery[J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2018, 19(10): 2929–2934.

[9] 韩俊杰, 朱汉金, 张白霖, 等. 医用直线加速器主要部件对 X 射线能谱的影响[J]. 核技术, 2015, 38(10): 100202–1–100202–6.

[10] Rogers DWO, Walters B, Kawrakow I. BEAMnrc Users Manual[R]. NRCC Report PIRS–0509(A), 2005.

[11] MMA C, Rogers DWO. BEAMdp Users Manual[R]. NRCC Report PIRS–0509(C), 2009.

[12] International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, recording, and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy. ICRU Report 83[J]. ICRU, 2010, 10(1): 26–29.

[13] 卜如懿, 严森祥, 陆中杰, 等. 固定准直器技术在左侧乳腺癌调强计划中的应用[J]. 中华放射医学与防护, 2011, 31(3): 333–335.

[14] 张桂芳, 卢洁, 马长升, 等. 直线加速器二级准直器在乳腺癌根治术后调强放疗计划中的应用[J]. 中华放射医学与防护, 2017, 37(8): 594–597.



(上接第 18 页)

结果表明海绵垫能够有效防止油包的发生, 提升灭菌成功率。上述方法虽可降低牙科手机灭菌油包发生率, 但并未从源头减少润滑油的溢出, 漏油导致的牙科手机内部油量不足仍旧会对其使用寿命造成影响。

综上所述, 牙科手机吹干注油后普通干燥柜干燥能有效降低灭菌时油包发生率及油包程度。

[参考文献]

[1] 谷炎斌. 口腔门诊医院感染的控制与管理[J]. 中医药管理志, 2019, 27(10): 47–48.

[2] 郝宝莲, 卢倩, 侯锐, 等. 新型冠状病毒肺炎疫情期口腔医院防护标准(八)——口腔诊疗器械处理[J]. 实用口腔医学杂志, 2020, 36(2): 188–191.

[3] 徐平英, 江婵娣, 罗丹, 等. 4组不同参数的高压灭菌方式对牙科手机性能影响的研究[J]. 护理研究, 2016, 30(4): 450–452.

[4] Secker TJ, Pinchin HE, Hervé RC, et al. Efficacy of humidity retention bags for the reduced adsorption and improved cleaning of tissue proteins including prion-associated amyloid to surgical stainless steel surfaces[J]. Biofouling, 2015, 31(6): 535–541.

[5] 李广霞. 口腔门诊器械清洗灭菌与管理的研究进展[J]. 中国医疗器械信息, 2021, 27(18): 12–15.

[6] 黄凝, 何正, 安娜, 等. 某三级专科医院护理人员消毒灭菌知识、态度及行为调查分析[J]. 中国消毒学杂志, 2022, 39(8): 616–618.

[7] 吴玉莲. 气枪二次使用在牙科手机清洗消毒中的应用[J]. 检验医学与临床, 2019, 16(13): 1937–1939, 1952.

[8] 张晓蓉, 周文文. 纸塑包装牙科手机灭菌后出现油包原因分析及改进[J]. 心理医师, 2018, 24(19): 307–308.

[9] 吴全, 吴玉艳, 开永菊. 新型手机干燥架在牙科手机干燥中的应用效果评价[J]. 当代护士(下旬刊), 2020, 27(10): 156–157.

[10] 田宇淑, 董银银, 倪一民. 降低牙科手机漏油包发生率的研究[J]. 健康之路, 2018, 17(7): 271–272.

[11] 四川大学. 一种牙科手机防油包保护套: CN202020370490.5[P]. 2020–12–22.

[12] 张毅涛. 巧用医用塑封纸边角料包装牙科手机防渗油的方法和使用[J]. 特别健康, 2018(15): 241.

[13] 李锐, 唐李平, 阮金利. 两种包装内衬材料在降低牙科手机灭菌后油包发生率的应用[J]. 健康必读, 2020(3): 244.