

论著·临床研究

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2022.09.016

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.r.20220314.2020.040.html\(2022-03-16\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.r.20220314.2020.040.html(2022-03-16))

Rapidplan 优化模块在左侧乳腺癌术后调强放疗中的应用研究*

桂记龙¹, 邹小艳^{2△}

(四川省自贡市第一人民医院:1.信息科;2.肿瘤科 643000)

[摘要] **目的** 探讨 Rapidplan 优化模块在左侧乳腺癌根治术后胸壁固定野调强放疗(IMRT)计划应用的可行性。**方法** 对该院确诊的 20 例左侧乳腺癌根治术后患者资料进行回顾性分析,通过 Eclipse v13.6 治疗计划系统进行人工 IMRT 计划和自动计划设计。比较靶区的适形指数(CI)、均匀性指数(HI)和危及器官全肺、心脏、脊髓、对侧乳腺的剂量学参数及机器跳数(MU)、计划优化效率。**结果** Rapidplan 优化模块和手动计划靶区均能满足临床要求,自动计划 HI 优于人工计划,差异有统计学意义($P < 0.05$); D_{98} 、 D_{mean} 和 CI 差异均无统计学意义($P > 0.05$)。危及器官方面,自动计划全肺的 V_5 、 V_{20} 均小于人工计划,差异有统计学意义($P < 0.05$),而 V_{30} 差异无统计学意义($P = 0.789$)。心脏 V_{30} 、 V_{40} 、 D_{mean} 结果为自动计划小于人工计划,差异有统计学意义($P < 0.05$)。脊髓 D_{max} 、右乳 D_{mean} 均是自动计划小于人工计划($P < 0.05$)。此外,自动计划较人工计划计划优化时间减少约 26.51%,MU 减少约 20.85%。**结论** Rapidplan 优化模块能够提高计划质量,值得临床推广。

[关键词] 乳腺癌;固定野调强;Rapidplan;剂量学;可行性**[中图分类号]** R318;R815.6**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2022)09-1516-04Application of Rapidplan optimization module in postoperative
IMRT for left breast cancer*GUI Jilong¹, ZOU Xiaoyan^{2△}

(1. Department of Medical Information; 2. Department of Oncology, Zigong Municipal First People's Hospital, Zigong, Sichuan 643000, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the feasibility of the Rapidplan optimization module in thoracic wall fixed field intensity modulated radiotherapy (IMRT) planning application after radical operation of left breast cancer. **Methods** Twenty patients with left breast cancer radical operation in this hospital were retrospectively analyzed. The manual IMRT plan and automatic planning design were performed through the Eclipse v13.6 treatment planning system. The conformity index (CI), homogeneity index (HI) of the target area and the dosimetric parameters of the organs at risk whole lungs, heart, spinal cord and contralateral breast as well as the monitor unit (MU) and plan optimization efficiency were compared. **Results** Both the Rapidplan optimization module and the manual planning target area all could meet the clinical requirements. The automatic planning HI was better than the manual planning, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$); the D_{98} , D_{mean} and CI had no statistical difference ($P > 0.05$). In terms of organs at risk, the V_5 and V_{20} of the automatic plan whole lung were smaller than those of the manual plan, and the difference was significantly different ($P < 0.05$), while the V_{30} difference had no statistical significance ($P = 0.789$). The results of cardiac V_{30} , V_{40} and D_{mean} were smaller than that of the manual plan, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). For the spinal cord D_{max} and right breast D_{mean} , both the automatic plan was less than the manual plan ($P < 0.05$). In addition, the optimization time of automatic planning was reduced by about 26.51% compared with manual planning, and the MU was reduced by about 20.85%. **Conclusion** The Rapidplan optimization module could improve the quality of the plan and is worthy to be clinically promoted.

[Key words] breast cancer; fixed field intensity modulation radiotherapy; Rapidplan; dosimetry; feasibility

乳腺癌是女性最常见的恶性肿瘤之一。乳腺癌根治术后胸壁放射治疗可以明显降低肿瘤局部和区域淋巴结复发率,提高治愈率^[1]。放射治疗技术作为乳腺癌的一种重要的治疗方式,目前已越来越广泛地应用于临床^[2]。在传统的计划设计过程中,计划的质量往往依赖于计划设计者的经验和技巧,不同地域、不同年资的物理师计划质量存在差异性,且物理师花费大量时间优化靶区和危及器官剂量,寻找最优的计划方案,耗时耗力。人工放疗计划质量与人为因素有很大关系,自动计划能很好地解决人为差异,提高计划质量,自动计划是近年来的研究热点^[3-5]。具有代表性的有美国瓦里安公司 Eclipse 计划系统的 Rapidplan 优化模块及飞利浦公司 Pinnacle 计划系统的 Autoplan。本研究利用 Rapidplan 优化模块建立左侧乳腺癌根治术后胸壁固定野调强放疗自动计划,首先由物理师在 Eclipse v13.6 计划系统(treatment planning system, TPS)制订人工计划,比较自动计划和人工计划的剂量学特性,分析 Rapidplan 优化模块在左侧乳腺癌根治术后胸壁固定野调强放疗应用的可行性,为临床提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

对 2020 年 1 月至 2021 年 1 月在本院治疗的 20 例左侧乳腺癌根治术后患者资料进行回顾性分析。放疗靶区包括左侧胸壁及锁骨上淋巴引流区。使用热塑膜及专用碳纤维板和枕头固定患者,统一取仰卧位,采用 CT 模拟定位机进行增强扫描,CT 扫描层厚 3 mm,扫描范围为环状软骨到第 2 腰椎。靶区勾画参照 ICRU-62 号报告。本研究对象为乳腺癌根治术后患者,不涉及肿瘤区(gross target volume, GTV),仅有临床靶区(clinical target volume, CTV)和计划靶区(planning target volume, PTV)。勾画 CTV,其中 CTV 包括锁骨上下淋巴引流区域、胸壁。CTV 外放 5 mm 成为 PTV。勾画心脏、脊髓、健侧乳腺、股骨头、食道、甲状腺、肝脏及双侧肺组织等危及器官(organ at risk, OAR),所有患者胸壁放疗技术均采用固定野调强放疗。

1.2 方法

1.2.1 计划设计

瓦里安 Eclipse V13.6 计划系统的 Rapidplan 模块是一种基于先验知识的机器学习方法,它通过分析模型库中靶区和危及器官的空间位置信息及剂量分布信息,能够很好地预测放疗计划,Rapidplan 模块需要通过计划数据库来建立和训练剂量体积直方图(dose volume histogram, DVH)预测模型。模型库的具体创建流程^[6]:首先,在模块中创建一个新的模

型,对其进行模型描述、临床描述、适用范围、添加结构等信息的填写。然后导入选择的 20 例左侧乳腺病例制订自动优化模块,提取特定参数,训练并核实,最终形成基于解剖特性和先验知识的乳腺癌调强计划自动优化模块。处方剂量均为 50 Gy/25 F。各危及器官的剂量参数为全肺 $V_5 < 60\%$ 、 $V_{20} < 30\%$ 、 $V_{30} < 20\%$;心脏 $V_{30} < 40\%$ 、 $V_{40} < 30\%$ 、 $D_{mean} < 12$ Gy,脊髓 $D_{max} < 45$ Gy,健侧乳腺 $D_{mean} < 5$ Gy。人工计划为既往临床治疗完成的计划,均由物理师手工完成。人工计划均采用与自动计划相同的能量、处方、布野及优化算法。

1.2.2 计划评估

根据剂量-体积直方图(dose-volume histogram, DVH)来评价靶区和危及器官的剂量学参数,参考 ICRU-83 号报告^[7]。靶区的剂量学参数: D_2 、 D_{98} 、平均剂量 D_{mean} ,其中 D_2 、 D_{98} 分别为包围靶区体积 2%、98% 的最小剂量;均匀性指数(HI) = $(D_2 - D_{98})/D_{50}$,其中 D_{50} 为包围靶区体积 50% 的最小剂量,HI 值越接近 0,表明靶区的均匀性越好。适形度指数(CI) = $(VT_{ref}/VT) \times (VT_{ref}/V_{ref})$,其中 ref 为 95% 处方剂量所覆盖的靶区体积,VT 为靶区体积, V_{ref} 为 95% 处方剂量所覆盖的总体积,CI 值越接近于 1,说明靶区的适形度越好。各危及器官的剂量参数为全肺 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} ;心脏 V_{30} 、 V_{40} 、 D_{mean} ;脊髓 D_{max} ;健侧乳腺 D_{mean} 。此外,评估各计划的机器跳数(monitor unit, MU)。

1.3 统计学处理

所有数据采用 SPSS22.0 软件进行统计处理,采用配对 t 检验处理自动计划与人工计划的差异, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 DVH 比较

某个病例靶区和危及器官的 DVH 对比,自动计划大部分危及器官受量低于人工计划,自动计划靶区均匀性也更好,见图 1。

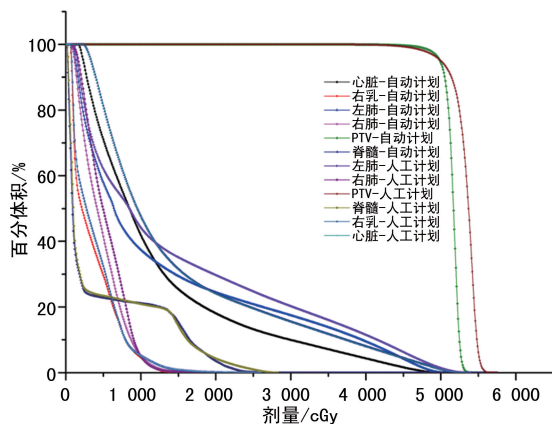


图 1 自动计划与人工计划 DVH 对比

2.2 靶区和危及器官剂量学参数比较

基于 Rapidplan 模块的自动计划与物理师手动完成的人工计划 D_2 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 但

D_{98} 、 D_{mean} 、CI 差异无统计学意义 ($P > 0.05$); 自动计划的 HI 优于人工计划, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 1。

表 1 靶区剂量学参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

项目	PTV				
	D_2 (cGy)	D_{98} (cGy)	D_{mean} (cGy)	CI	HI
自动计划	5 280.32 ± 57.33	4 738.69 ± 72.34	5 116.21 ± 47.77	0.687 ± 0.011	0.105 8 ± 0.010 0
人工计划	5 296.77 ± 64.48	4 729.44 ± 70.46	5 119.12 ± 53.33	0.681 ± 0.051	0.110 8 ± 0.012 3
<i>P</i>	0.029	0.163	0.552	0.144	0.014

自动计划全肺 V_5 、 V_{20} 均低于人工计划, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 但全肺 V_{30} 差异无统计学意义 ($P = 0.789$), 自动计划心脏 V_{30} 、 V_{40} 、 D_{mean} 均比人工计划低, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。脊髓 D_{max} 、右乳(健侧乳腺) D_{mean} 也是自动计划低于人工计划, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 2。

表 2 危及器官剂量学参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

危及器官	参数	自动计划	人工计划	<i>P</i>
全肺	V_5 (%)	35.90 ± 6.40	36.34 ± 6.47	0.003
	V_{20} (%)	14.69 ± 2.41	14.87 ± 2.39	0.000
	V_{30} (%)	10.82 ± 1.87	10.84 ± 1.87	0.789
心脏	V_{30} (%)	7.04 ± 2.36	7.08 ± 2.37	0.011
	V_{40} (%)	4.03 ± 2.07	4.05 ± 2.09	0.044
脊髓	D_{mean} (cGy)	879.25 ± 145.42	883.12 ± 146.46	0.002
	D_{max} (cGy)	2 950.66 ± 363.76	2 979.72 ± 367.13	0.000
右乳	D_{mean} (cGy)	198.56 ± 88.52	199.53 ± 88.34	0.017

2.3 计划优化效率与机器跳数比较

人工计划的平均优化时间为 (48.35 ± 13.02) min, 自动计划平均优化时间为 (35.53 ± 12.35) min, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。人工计划 MU 为 1 506 ± 311, 自动计划 MU 为 1 192 ± 182, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

3 讨论

放射治疗是乳腺癌患者的重要治疗手段之一, 在 IMRT 计划设计中, 需要物理师手动完成, 并反复优化直至满足临床需求, 为获取更高质量的计划, 需要耗费大量的时间, 计划的质量依赖于设计者的经验与技巧。而自动计划可有效节约人力资源, 降低不同设计者计划设计的差异, 满足高质量的计划设计要求。近年来, 自动计划技术被引入到各部位肿瘤放疗计划设计中^[8-9]。在使用 Rapidplan 优化模块过程中, 其结果也不是全自动的, 其优化过程往往需要手动调整靶区的权重和参数, 仍然需要多次微调, 但没有增加计

划设计的复杂程度, 优化的时间相对于人工计划有大幅度降低 (26.51%)。

固定野调强放疗在保证靶区剂量的情况下保护了靶区周边的危及器官, 在多种肿瘤放疗中均有报道^[10-11]。减少肺、心脏等的照射剂量和照射体积可以降低放射性肺炎和放射性相关心脏病的发生^[12]。本研究以左侧乳腺癌为例, 基于 Eclipse v13.6 计划系统 Rapidplan 模块探讨 IMRT 自动计划与人工计划的区别, 通过比较两种放疗计划部分剂量学参数, 探讨自动计划在左侧乳腺癌术后胸壁固定野优化放疗计划的应用价值。临床研究指出, 与人工计划相比, 自动计划在部分肿瘤放疗计划中能够有效地实现计划时间与质量的优化^[13-14]。对左侧乳腺癌术后胸壁放疗自动计划应用价值, 未见有明确报道, 本研究结果显示, 自动计划比人工计划靶区 HI 更有优势 ($P < 0.05$), 自动计划的靶区均匀性明显提高, 这与吴建箴等^[14]的研究结果类似。危及器官方面, 肺、心脏、脊髓等大多数指标人工计划高于自动计划, 自动计划全肺的 V_5 、 V_{20} 均小于人工计划, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 而 V_{30} 差异无统计学意义 ($P = 0.789$)。心脏 V_{30} 、 V_{40} 、 D_{mean} 结果为自动计划小于人工计划, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。GALLIO 等^[15]比较了肝癌立体定向放射治疗 Pinnacle 计划系统的自动计划与人工计划靶区和危及器官剂量学参数、机器跳数、计划设计时间等, 发现自动计划能降低脊髓剂量和减少计划设计时间, 这与本研究结论基本一致。本研究自动计划肺、心脏、脊髓等危及器官剂量降低, 且计划优化时间减少 26.51%, 提高了优化效率, 根本原因在于 Rapidplan 是一种基于解剖结构和先验知识的人工智能方法。在使用 Rapidplan 模块进行计划设计时, 模块既可以为每个危及器官提供一个预测区间供物理师参考, 使用 Rapidplan 自动计划生成的函数进行优化时, 危及器官的剂量是按照预测区间的整个下限线进行优化。因此不仅可以有效地避免人工优化过程由于主观性导致的欠优计划, 在优化过程中帮助物理

师在制作过程中快速修改;而且对于每个危及器官而言,优化的目标参数也从常规的点扩大到了线,可以达到尽可能低的限值,从而获得了比常规临床计划更佳的剂量分布,也提高了计划制作的效率^[6]。ZHANG 等^[16]和任江平等^[17]比较了鼻咽癌自动计划与人工计划特点,认为自动计划不仅有很好的靶区均匀性和适行度,还降低了脊髓、脑干的剂量,降低了机器跳数和计划设计时间,这与本研究结果基本一致。

综上所述,在左侧乳腺癌根治术后胸壁固定野调强放疗计划中,使用 Rapidplan 优化模块,在达到人工计划靶区处方剂量的同时能进一步降低肺、心脏、脊髓等危及器官的剂量,也可缩短计划设计时间,提高计划质量,值得临床推广。

参考文献

- [1] 王磊,倪昕晔,王根和,等. 乳腺癌固定野调强射野数目的研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(11):35-41.
- [2] 卢奕康,李东升. 乳腺癌保乳术后两种放疗技术剂量学分析[J]. 吉林医学, 2019, 40(2): 336-337.
- [3] TERUEL J R, TANEJA S, GALAVIS P E, et al. Automatic treatment planning for VMAT-based total body irradiation using eclipse scripting[J]. J Appl Clin Med Phys, 2021, 22(3): 119-130.
- [4] CASTRICONI R, CATTANEO G M, MANGILI P, et al. Clinical implementation of knowledge-based automatic plan optimization for helical tomotherapy[J]. Pract Radiat Oncol, 2021, 11(2):e236-244.
- [5] WANG H, WANG R, LIU J, et al. Tree-based exploration of the optimization objectives for automatic cervical cancer IMRT treatment planning[J]. Br J Radiol, 2021, 94(1123): 20210214.
- [6] 陈旒,曾彪,张骥. Rapidplan 优化模块在宫颈癌容积调强计划中的可行性应用研究[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(5):83-87.
- [7] HODAPP N. The ICRU Report 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT)[J]. Strahlenther Onkol, 2012, 188(1):97-99.
- [8] MCCONNELL K A, MARSTON T, ZEHREN B E, et al. Dosimetric evaluation of pinnacle's automated treatment planning software to manually planned treatments[J]. Technol Cancer Res Treat, 2018, 17(3):1-7.
- [9] CHEN J H, BAI P G, ZHANG X C, et al. Automated intensity modulated radiation therapy treatment planning for cervical cancer based on convolution neural network[J]. Technol Cancer Res Treat, 2020, 19(1):1-7.
- [10] UEDA Y, MIYAZAKI M, SUMIDA I, et al. Knowledge-based planning for oesophageal cancers using a model trained with plans from a different treatment planning system[J]. Acta Oncol, 2020, 59(3): 274-283.
- [11] 张麒麟,王明清,张书铭,等. 基于先验知识的宫颈癌自动计划模型泛化的可行性研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2021, 41(5):327-333.
- [12] 马茗微,王淑莲,苗俊杰,等. 同时性双侧乳腺癌保乳术后放疗技术和近期疗效分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(9):677-681.
- [13] 刘映,宋莹,张惠玲. 胃癌术后调强放疗自动与人工计划的剂量学比较[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2021, 28(3):223-229.
- [14] 吴建箴,邓婷,赵罍. 自动计划与人工计划在宫颈癌术后 VMAT 放疗中的剂量学比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(8):989-992.
- [15] GALLIO E, GIGLIOLI F R, GIRARDI A, et al. Evaluation of a commercial automatic treatment planning system for liver stereotactic body radiation therapy treatments[J]. Phys Med, 2018, 46:153-159.
- [16] ZHANG Q, PENG Y, SONG X, et al. Dosimetric evaluation of automatic and manual plans for early nasopharyngeal carcinoma to radiotherapy[J]. Med Dosim, 2019, 45(1):e13-20.
- [17] 任江平,周瑛瑛,戴许豪,等. 自动计划 RapidPlan 优化模块在鼻咽癌调强计划中的可行性应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(8):783-789.