

RapidPlan 模型跨病种应用的可行性探索研究

王景

(安徽省公共卫生临床中心 肿瘤放疗科, 安徽 合肥 230012)

摘要: **目的** 探索 RapidPlan 自动计划模型跨病种应用的可能性。**方法** 抽取 10 例直肠癌手动优化临床应用 (CMO) 计划作为测试组, 使用已被证实在宫颈癌自动计划中表现优秀的 RapidPlan 模型对其进行优化, 并对比直肠癌手动计划和自动计划的差异, 判断模型的跨病种应用的可行性。**结果** 模型生成的自动计划与手动计划均满足临床需求, 相较于手动计划, RapidPlan 自动计划模型优化计划的危及器官 (Organ at Risk, OAR) 膀胱 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 分别降低了 19.0%、17.6%、20.7% ($P<0.05$)。计划靶区 (PTV) 的 D_2 降低了 1.6%, D_{98} 提高了 0.9%, 适形度指数 (CI) 值降低了 5.6% ($P<0.05$), 均匀度指数 (HI) 则差异无统计学意义 ($P>0.05$)。**结论** 利用宫颈癌 RapidPlan 自动计划模型优化直肠癌计划得到的结果相较于手动计划更优, 模型的跨病种使用在临床上有一定的可行性。

关键词: RapidPlan 模型; 跨病种应用; 宫颈癌; 直肠癌

中图分类号: R811.1

Feasibility study on the application of RapidPlan model across disease species

WANG Jing

(Department of Radiation Oncology, Anhui Public Health Clinical Center, Hefei, Anhui 230012, China)

Abstract: **[Objective]** To explore the possibility of applying RapidPlan automatic planning model across different diseases. **[Methods]** Ten cases of clinical manual optimization (CMO) for rectal cancer were selected as the test group, and the RapidPlan model, which has been proven to perform well in cervical cancer automatic planning, was used to optimize it. The differences between manual and automatic plans were compared to determine the feasibility of the model's cross disease application. **[Results]** Both the automatic and manual plans generated by the model met clinical needs. Compared with manual plans, the RapidPlan automatic plan model optimized plans for organ at risk (OAR), bladder V_{30} , V_{40} , and V_{50} decreased by 19.0% ($P=0.035$), 17.6% ($P=0.042$), and 20.7% ($P=0.001$), respectively. The D_2 of planning target volume (PTV) decreased by 1.6% ($P=0.016$), D_{98} increased by 0.9% ($P=0.002$), and the conformance index (CI) value decreased by 5.6% ($P=0.019$). However, there was no statistically significant difference in the homogeneity index (HI). **[Conclusion]** The optimization of rectal cancer planning using the RapidPlan automatic planning model for cervical cancer yields better results compared with manual planning, and the cross disease use of the model has certain feasibility in clinical practice.

Keywords: RapidPlan model; across disease application; cervical carcinoma; rectal cancer

放射治疗是肿瘤治疗的三大主要方式之一, 据统计, 目前 70% 的癌症患者可以通过放射治疗延缓病情, 控制并发症^[1-2], 具体到宫颈癌则有 80% 的患者需要放射治疗的帮助^[3-4]。精确放疗的引入与普及以来, 患者的放疗预后相较于传统的

普放有了极大的进步, 精确放疗的治疗效果与放疗计划质量息息相关, 然而放疗计划设计复杂, 其核心挑战在于是如何在保证计划靶区 (planning target volume, PTV) 剂量的同时保护正常组织^[5]。放疗计划质量高度依赖于设计计划的物理师的水

平经验，高水平的物理师在我国十分稀缺，即使是普通物理师从业者仍有 10 000 名的缺口^[6]。为提高计划质量一致性，改善因人员水平经验参差造成的计划质量差异，Varian 公司推出的 RapidPlan 自动计划目前被广泛推荐使用^[7-8]，其通过先验知识建立模型，以模型进行运算进行放疗计划自动设计^[9]。RapidPlan 的原理决定了其自动优化的计划质量的高低依赖于模型的质量，但是训练出高质量的模型费时费力^[10]，这极大地增加了使用者的负担。本文以 PTV 形态相似的宫颈癌和直肠癌为例，探索高质量的模型在不同病种中运用的可行性，从而降低模型训练对于使用者的负担，进一步推广自动计划在临床的应用。

1 材料和方法

1.1 一般资料

抽取安徽医科大学第一附属医院高新院区 2018 年 3 月至 2022 年 12 月直肠癌放疗计划 10 例作为实验组。患者均仰卧位，双手抱肘置于额头，采用真空体膜固定，行大孔径 CT (GE Discovery RT 590) 以 5 mm 层厚扫描，采用相同处方剂量 (50 Gy/25 f)，Vitalbeam 直线加速器单中心容积旋转调强 (volumetric modulated arc therapy, VMAT) 双整弧照射。计划要求 100% 处方剂量线覆盖 95% 的 PTV，由资深物理师通过 Varian 公司 Eclipse13.6 计划系统优化，且由主治医师认可并已经临床应用。

1.2 实验方法

选择以宫颈癌病例训练完毕并临床应用的 RapidPlan 模型，该模型病例以层次约束优化法^[11-12]进行精炼，在测试和实践中均证明可以自动优化出符合临床需求且优于人工设计的宫颈癌计划^[13]。以该模型优化抽取的 10 例直肠癌计划，并对比相关参数，评估模型跨病种应用的可行性。

1.3 计划评估

将抽取的 10 例手动优化临床应用 (clinical manual optimization, CMO) 直肠癌计划利用 RapidPlan 模型生成自动计划，过程中保证除模型生成自动计划参数步骤外，其他所有条件不变，

再将优化完成的 RapidPlan 自动计划和 CMO 计划进行计划 PTV 和重要参数的对比，从而确定自动计划的可用性。

基于国际放射性单位委员会 83 号报告，以 D_2 和 D_{98} 作为 PTV 近似最大剂量和近似最小剂量，评估 PTV 剂量分布，均为越接近处方剂量越好。适型度指数 (conformance index, CI) 值评估 PTV 适型度，其值介于 0~1 之间，越接近 1 说明适型度越好，HI 值评估 PTV 剂量分布均匀度，HI 越小说明均匀度越好。结合临床实际，在处方剂量为 50 Gy/25 f 的直肠癌放疗治疗中，危及器官 (organ at risk, OAR) 主要关注膀胱的 V_{30} 、 V_{40} 及 V_{50} 。

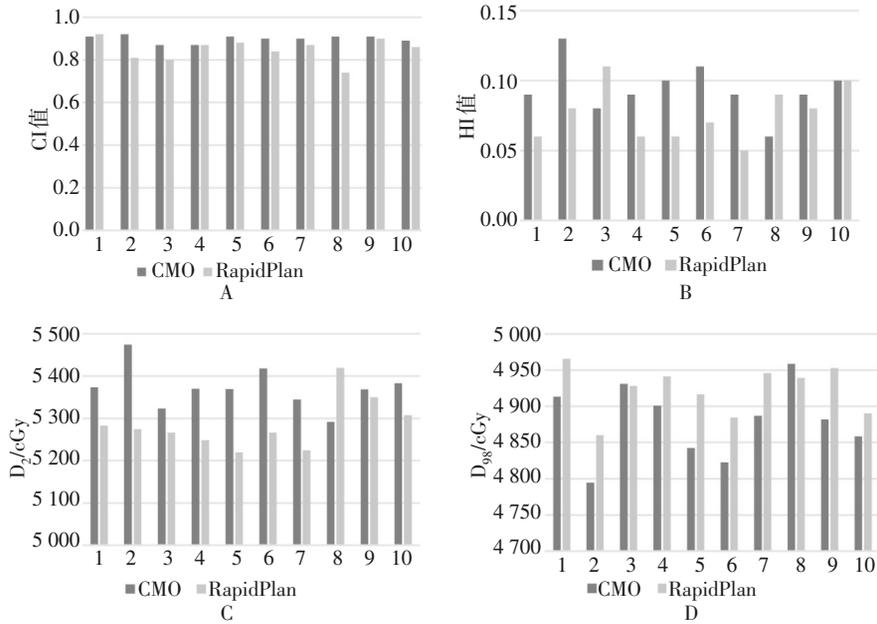
1.4 统计学方法

本文运用 SPSS 20.0 软件比较 RapidPlan 简化模型生成的自动计划和 CMO 计划的数据差异，以 Shapiro-Wilk 法对数据组进行正态分布检验，对符合正态分布的行配对样本 t 检验，对不符合正态分布的行 Wilcoxon 符号秩和检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

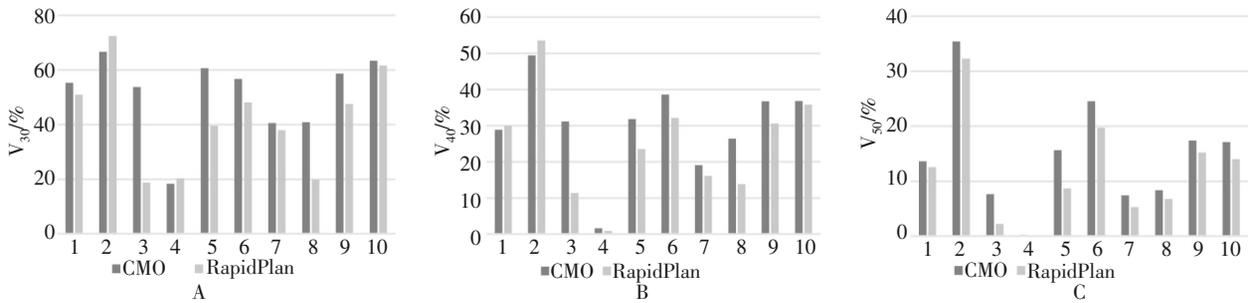
CMO 计划与 RapidPlan 自动计划结果剂量分布均满足临床需求。图 1 分别展示了 CMO 计划与 RapidPlan 自动计划的 PTV 的 CI、HI、 D_2 和 D_{98} 值对比，表 1 展示了 CMO 计划与 RapidPlan 自动计划 PTV 相关数据统计结果。相较于 CMO 计划，自动计划的 CI 值为 0.85 ± 0.05 ，降低了 5.6%，差异有统计学意义 ($P < 0.05$)，HI 值则差异无统计学意义 ($P > 0.05$)， D_2 为 (5285.7 ± 57.4) cGy，降低了 1.6%， D_{98} 为 (4922.3 ± 32.3) cGy，提高了 0.9%，差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。

图 2 展示了 CMO 计划与 RapidPlan 计划的 OAR 剂量对比，表 2 展示了 CMO 计划与 RapidPlan 自动计划 OAR 相关数据统计结果。统计分析显示，相较于 CMO 计划，自动计划的 OAR 剂量均有所降低，膀胱的 V_{30} 、 V_{40} 及 V_{50} 值分别为 (41.66 ± 17.26) %、 (24.75 ± 14.17) % 及 (11.67 ± 8.97) %，分别降低了 19.0%、17.6% 及 20.7%。



A: CMO 计划与 RapidPlan 自动计划 PTV CI 对比图; B: CMO 计划与 RapidPlan 自动计划 PTV HI 对比图; C: CMO 计划与 RapidPlan 自动计划 PTV D_2 对比图; D: CMO 计划与 RapidPlan 自动计划 PTV D_{98} 对比图。

图 1 CMO 计划与 RapidPlan 自动计划相关数据比较



A: 计划与 RapidPlan 自动计划膀胱 V_{30} 对比图; B: CMO 计划与 RapidPlan 自动计划膀胱 V_{40} 对比图; C: CMO 计划与 RapidPlan 自动计划膀胱 V_{50} 对比图。

图 2 CMO 计划与 RapidPlan 自动计划 OAR 相关剂量比较

表 1 CMO 计划与 RapidPlan 自动计划 PTV 统计值
($\bar{x} \pm s$)

组别	CI	HI	D_2/cGy	D_{98}/cGy
RapidPlan	0.85±0.05	0.08±0.02	5 285.7±57.4	4 922.3±32.25
CMO	0.90±0.02	0.09±0.02	5 371.5±47.3	4 879.0±47.9
<i>t</i>	2.87	1.94	2.97	4.30
<i>P</i>	0.019	0.085	0.016	0.002

表 2 CMO 计划与 RapidPlan 自动计划 OAR 统计值
($\bar{x} \pm s$)

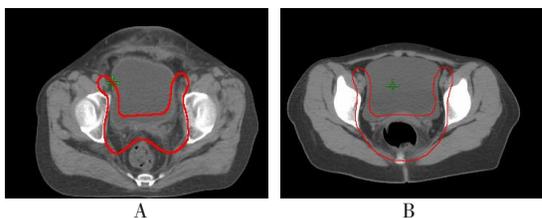
组别	V_{30}	V_{40}	V_{50}
RapidPlan	41.7±17.3	24.8±14.2	11.7±9.0
CMO	51.7±13.7	30.0±12.2	14.7±9.5
<i>t</i>	2.47	2.37	4.53
<i>P</i>	0.035	0.042	0.001

3 讨论

人工放疗计划的设计费时费力，且计划质量高度依赖于物理师的水平经验。RapidPlan 自动计划是一种基于经验的自动计划设计系统，多年来，学者对其在各个病种中的研究于应用络绎不绝，其可行性和稳定性得到了广泛的认可^[14-23]，然而该模型的训练方式复杂，近年来，为训练高质量的模型，推广模型的应用，国内外学者提出了一系列新的模型训练方法，如学者 FOGLIATA 等^[24]提出一种迭代方式建立模型库，学者 FUSELLA^[4]提出一种利用 APQM 评分法等。本研究探索已有的高质量模型跨病种应用的可行性，期望能够提

高模型的利用率，减轻模型训练的负担，推动自动计划的进一步应用。

直肠癌的放疗 PTV 与宫颈癌有一定的相似性，图 3 展示了宫颈癌和直肠癌的 PTV 截面，可以看到 PTV 结构有一定的相似性，因此本文将宫颈癌的 RapidPlan 模型应用于直肠癌病例，验证是否存在自动计划模型跨病种应用的可能性。本文使用 10 例直肠癌病例作为测试，并对比了一系列参数，结果证明，在 PTV 的参数中，除了均匀性参数表现相较于 CMO 计划有轻微降低，所有的参数均是自动计划表现相同或更佳，而结合自动计划在 OAR 的剂量表现上远远优于手动计划，在均保证 PTV 95% 的覆盖率的前提下，自动计划的轻微不均匀性是因为降低了 OAR 与重叠区的剂量，从而更佳地保护了 OAR，这也和该模型在宫颈癌的相关测试中的结果类似^[13]。



A: 宫颈癌 PTV 截面; B: 直肠癌 PTV 截面。

图 3 CMO 计划与 RapidPlan 自动计划 OAR 相关剂量比较

本文将宫颈癌病例训练的 RapidPlan 模型应用于 PTV 类似的直肠癌病例，结果显示该模型优化的直肠癌自动计划表现优于手动计划，证明模型的跨病种应用有一定的可行性，未来期望可以使用更多的病例的测试与实验，进一步探索 RapidPlan 模型跨病种应用的潜力。

参考文献

[1] 王翰宇. RapidPlan 及新的精炼模型方法在常见肿瘤中的应用分析[D]. 衡阳: 南华大学, 2017.
[2] TEOH M, CLARK CH, WOOD K, et al. Volumetric modulated arc therapy: a review of current literature and clinical use in practice [J]. Br J Radiol, 2011, 84(1007): 967-996.
[3] KADERKA R, MUNDT RC, LI N, et al. Automated closed- and open-loop validation of knowledge-based planning routines across multiple disease sites[J]. Pract Radiat Oncol, 2019, 9(4): 257-265.
[4] FUSELLA M, SCAGGION A, PIVATO N, et al. Efficiently train and validate a RapidPlan model through APQM scoring[J]. Med Phys, 2018, 45(6): 2611-2619.

[5] MIGUEL-CHUMACERO E, CURRIE G, JOHNSTON A, et al. Effectiveness of Multi-Criteria Optimization-based Trade-Off exploration in combination with RapidPlan for head & neck radiotherapy planning[J]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 229.
[6] 张焯, 易俊林, 姜威, 等. 2019 年中国大陆地区放疗人员和设备基本情况调查研究[J]. 中国肿瘤, 2020, 29(5): 321-326.
[7] GOOD D, LO J, LEE WR, et al. A knowledge-based approach to improving and homogenizing intensity modulated radiation therapy planning quality among treatment centers: an example application to prostate cancer planning[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2013, 87(1): 176-181.
[8] TOL JP, DOORNAERT P, WITTE BI, et al. A longitudinal evaluation of improvements in radiotherapy treatment plan quality for head and neck cancer patients[J]. Radiother Oncol, 2016, 119(2): 337-343.
[9] VAN GYSEN K, O'TOOLE J, LE A, et al. Rolling out RapidPlan: what we've learnt[J]. J Med Radiat Sci, 2020, 67(4): 310-317.
[10] SHEPHERD M, BROMLEY R, STEVENS M, et al. Developing knowledge-based planning for gynaecological and rectal cancers: a clinical validation of RapidPlan™ [J]. J Med Radiat Sci, 2020, 67(3): 217-224.
[11] WILKENS JJ, ALALY JR, ZAKARIAN K, et al. IMRT treatment planning based on prioritizing prescription goals[J]. Phys Med Biol, 2007, 52(6): 1675-1692.
[12] JEE KW, MCSHAN DL, FRAASS BA. Lexicographic ordering: intuitive multicriteria optimization for IMRT[J]. Phys Med Biol, 2007, 52(7): 1845-1861.
[13] 王景. 简化模型在宫颈癌自动计划中的研究及应用[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2022.
[14] FOGLIATA A, WANG PM, BELOSI F, et al. Assessment of a model based optimization engine for volumetric modulated arc therapy for patients with advanced hepatocellular cancer[J]. Radiat Oncol, 2014, 9: 236.
[15] HUSSEIN M, SOUTH CP, BARRY MA, et al. Clinical validation and benchmarking of knowledge-based IMRT and VMAT treatment planning in pelvic anatomy[J]. Radiother Oncol, 2016, 120(3): 473-479.
[16] FOGLIATA A, NICOLINI G, CLIVIO A, et al. A broad scope knowledge based model for optimization of VMAT in esophageal cancer: validation and assessment of plan quality among different treatment centers[J]. Radiat Oncol, 2015, 10: 220.
[17] TOL JP, DELANEY AR, DAHELE M, et al. Evaluation of a knowledge-based planning solution for head and neck cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2015, 91(3): 612-620.
[18] FOGLIATA A, REGGIORI G, STRAVATO A, et al. RapidPlan head and neck model: the objectives and possible clinical benefit [J]. Radiat Oncol, 2017, 12(1): 73.
[19] FOGLIATA A, NICOLINI G, BOURGIER C, et al. Performance of a knowledge-based model for optimization of volumetric modulated arc therapy plans for single and bilateral breast irradiation[J].

- PLoS One, 2015, 10(12): e0145137.
- [20] CHIN SNYDER K, KIM J, REDING A, et al. Development and evaluation of a clinical model for lung cancer patients using stereotactic body radiotherapy (SBRT) within a knowledge-based algorithm for treatment planning[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(6): 263-275.
- [21] FOY JJ, MARSH R, TEN HAKEN RK , et al. An analysis of knowledge-based planning for stereotactic body radiation therapy of the spine[J]. Pract Radiat Oncol, 2017, 7(5): e355-e360.
- [22] KUBO K, MONZEN H, ISHII K, et al. Dosimetric comparison of RapidPlan and manually optimized plans in volumetric modulated arc therapy for prostate cancer[J]. Phys Med, 2017, 44: 199-204.
- [23] COZZI L, VANDERSTRAETEN R, FOGLIATA A, et al. The role of a knowledge based dose-volume histogram predictive model in the optimisation of intensity-modulated proton plans for hepatocellular carcinoma patients: training and validation of a novel commercial system[J]. Strahlenther Onkol, 2021, 197(4): 332-342.
- [24] FOGLIATA A, COZZI L, REGGIORI G, et al. RapidPlan knowledge based planning: iterative learning process and model ability to steer planning strategies[J]. Radiat Oncol, 2019, 14(1): 187.

(方丽蓉 编辑)