

直肠癌调强放疗的临床计划质量优化和评估

黄霖^{1,2}, 刘懿梅³, 陈美宁³, 黄劲敏³, 邓小武³, 彭应林³, 张煜¹

1. 南方医科大学生物医学工程学院, 广东 广州 510515; 2. 潮州市中心医院肿瘤科, 广东 潮州 521000; 3. 中山大学肿瘤防治中心/华南肿瘤学国家实验室/肿瘤医学协同创新中心放疗科, 广东 广州 510060

【摘要】目的:采用PlanIQ软件评估直肠癌调强放射治疗临床治疗计划和再优化计划的质量,为调强放疗计划筛选和优化提供方法和工具。**方法:**回顾性随机选取20例接受调强放疗的直肠癌患者,调强放疗技术(IMRT)和旋转容积调强技术(VMAT)计划各10例。(1)临床治疗计划设计(TP):IMRT计划采用5野等间距照射,VMAT计划采用2个360°弧旋转照射。处方剂量为PTV1:50 Gy/25 f;PTV2:45 Gy/25 f。所有计划均采用直接机器参数优化,且要求95%等剂量线能覆盖100%靶区体积,危及器官(OARs)参考耐受剂量标准来限制。计划完成后由医生审核确认,并经过计划剂量验证后实施治疗。(2)治疗计划再优化设计(RP):由1名有10年经验的计划设计者对20例TP计划进行重新优化,保持照射技术和照射野条件不变,根据个人经验重新调整计划优化条件和参数,直到OARs剂量尽可能低,且不影响PTV的目标覆盖率。用PlanIQ软件分别对TP和RP计划质量进行量化评估。两组计划之间剂量DVH参数和计划质量指数(PQI)行非参数的Wilcoxon符号秩检验。**结果:**RP计划的各DVH参数均优于TP计划,其中PTV1的 D_{max} 、小肠的 V_{45Gy} 和 D_{max} 以及结肠的 V_{45Gy} 的差异具有统计学意义($P<0.05$)。IMRT组、VMAT组和所有患者的RP计划的质量评分均高于TP计划,差异具有统计学意义($P<0.05$),其PQI分别为(88.55 ± 3.35 vs 86.61 ± 4.63 , $P=0.005$)、(89.72 ± 3.15 vs 87.21 ± 3.04 , $P=0.028$)和(89.14 ± 3.22 vs 86.91 ± 3.22 , $P=0.001$)。**结论:**计划再优化可以进一步提高直肠癌调强放疗的临床计划质量,PlanIQ软件为放疗计划质量控制和优质计划筛选提供了一种有效工具。

【关键词】直肠癌;调强放疗计划;放疗计划质量控制;PlanIQ;计划筛选

【中图分类号】R318;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2024)02-0133-06

Quality re-optimization and assessment of radiotherapy plan for rectal cancer

HUANG Lin^{1,2}, LIU Yimei³, CHEN Meining³, HUANG Shaomin³, DENG Xiaowu³, PENG Yinglin³, ZHANG Yu¹

1. School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 2. Department of Oncology, Chaozhou Central Hospital, Chaozhou 521000, China; 3. Department of Radiation Oncology, Sun Yat-sen University Cancer Center/State Key Laboratory of Oncology in South China/Collaborative Innovation Center for Cancer Medicine, Guangzhou 510060, China

Abstract: Objective To evaluate the quality of treatment planning (TP) and re-optimization planning (RP) of radiotherapy for rectal cancer using PlanIQ software, thereby providing methods and tools for the screening and optimization of radiotherapy plans. **Methods** Twenty patients with rectal cancer who received radiotherapy were selected retrospectively, with 10 cases of intensity-modulated radiotherapy (IMRT) and 10 of volumetric modulated arc therapy (VMAT). (1) TP: IMRT plan involved 5-field irradiation, and VMAT plan involved two 360° arcs. The prescription doses were 50 Gy/25 f for PTV1 and 45 Gy/25 f for PTV2. All plans underwent direct machine parameter optimization and required 95% isodose lines to cover 100% of the target volume. Organs-at-risk (OAR) were limited by reference to tolerated dose standards. After the planning was completed, the plans were reviewed and confirmed by a physician, and the treatment was implemented after dose verification. (2) RP: a physicist with 10 years of experience re-optimized the 20 TP plans, with the irradiation technique and field setting unchanged. The re-optimization involved adjusting planning conditions and parameters based on individual experience until the dose to OAR was minimized while without affecting PTV coverage. The quality of TP plans and RP plans were

【收稿日期】2023-08-01

【基金项目】国家重点研发计划(2022YFC2402304);国家自然科学基金(12005316);中华国际医学交流基金会肿瘤精准放疗星火计划(2019-N-11-20);广州市科技计划(202206010154, 202206010180)

【作者简介】黄霖, 硕士研究生, 研究方向: 放射治疗计划设计与剂量学, E-mail: 705854163@qq.com

【通信作者】张煜, 教授, 研究方向: 医学图像分析与肿瘤放射物理, E-mail: yuzhang@smu.edu.cn; 彭应林, 博士, 研究方向: 肿瘤放射物理学, E-mail: pengyl@sysucc.org.cn

quantitatively evaluated using PlanIQ software. Non-parametric Wilcoxon signed rank test was performed for dose-volume histogram parameters and plan quality index between two groups. **Results** The dose-volume histogram parameters in RP plans were superior to those in TP plans, and the differences in the D_{max} of PTV1, the $V_{45\text{ Gy}}$ and D_{max} of small intestine, and the $V_{45\text{ Gy}}$ of colon were statistically significant ($P<0.05$). The quality scores of RP plans for IMRT group, VMAT group and all patients were significantly higher than those of TP plans ($P<0.05$), with plan quality index of 88.55 ± 3.35 vs 86.61 ± 4.63 ($P=0.005$), 89.72 ± 3.15 vs 87.21 ± 3.04 ($P=0.028$), and 89.14 ± 3.22 vs 86.91 ± 3.22 ($P=0.001$), respectively. **Conclusion** RP can further improve the quality of radiotherapy plan for rectal cancer. PlanIQ software serves as an effective tool for quality control and screening of radiotherapy planning.

Keywords: rectal cancer; intensity-modulated radiotherapy; radiotherapy plan quality control; PlanIQ; plan screening

前言

放射治疗是直肠癌的常规治疗手段之一^[1]。剂量学研究表明调强放疗技术(Intensity Modulated Radiotherapy, IMRT)和旋转容积调强技术(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)治疗直肠癌可减少邻近危及器官(OARs)的剂量,同时保持较好的靶点覆盖、均匀性和一致性,优于三维适形放疗(3DCRT)技术^[2-4]。然而,由于在调强放疗计划中可使用多种放疗技术和优化方法,这都可导致最终优化计划发生变化,并导致治疗计划剂量也发生变化,从而影响临床结局^[5-7]。

调强放疗计划设计时,计划设计者常通过参考一些临床放疗指南,用以指导肿瘤靶区处方剂量的给予和危及器官 OARs 剂量的限制。然而,指南不能反映患者个体化差异对剂量学的要求^[8]。对于一些患者放疗计划,剂量约束目标宽松,治疗计划系统(TPS)优化时很容易达到要求,这会导致设计者在计划优化达到限定的剂量目标要求后就停止进一步优化,使得临床计划质量没有达到最优,从而影响临床治疗疗效。另外,调强放疗计划是一个复杂的过程,计划设计者需要了解如何调整计划参数以实现计划目标。不同的计划设计者可能使用不同的计划技术,这些技术可能产生不同的最终结果^[9]。计划设计者也常需根据个人经验反复尝试不断调整逆向优化的目标函数等以寻求更优剂量分布的放疗计划。然而,这种调节过程极度依赖放疗计划设计者的临床经验、技巧以及对放疗物理知识、TPS 的理解等。因此,对于复杂计划的设计,由于计划设计者经验不足,导致计划质量低下,难以达到最优剂量分布,从而严重影响患者的治疗疗效。基于深度学习方法的智能自动计划设计成为解决上述临床问题的方法之一,可减少计划设计时间和计划设计者之间的差异,并模拟计划者在优化过程中调整参数以产生最佳治疗计划^[10]。然而,智能计划质量取决于训练样本的

质量,输入的计划质量越好,训练的模型结果越好。因此,在训练深度学习模型时,对临床训练样本计划进行再优化,并有效筛选出更优计划是提高智能自动计划质量的关键。

综上所述,直肠癌放疗计划再优化是否可以提高临床放疗计划质量,以及如何评估放疗计划质量的优劣,做好智能自动计划模型训练数据的质量控制值得进一步研究。本研究拟通过 PlanIQ 软件评估直肠癌临床治疗计划(Treatment Planning, TP)和再优化计划(Reoptimization Planning, RP)的质量,以筛选出更优的计划,用于训练和建立深度学习智能自动计划模型,提高自动计划设计的质量。

1 材料与方法

1.1 患者一般资料

选取中山大学肿瘤防治中心 2020~2022 年期间接受调强放疗的 20 例直肠癌患者,其中,IMRT 和 VMAT 技术各 10 例,患者均采用俯卧位方式,并用热塑膜和 Ofit 架固定。患者年龄 45~65 岁,平均年龄 52 岁;男性 12 例,女性 8 例;II 期 4 例,III 期 10 例,IV 期 6 例。

1.2 计划 CT 图像获取

所有患者图像均由 Brilliance CT (Big Bore, Philips Medical Systems Inc., USA)扫描获得,扫描电压为 140 kV,电流为 280 mAs,扫描和重建层厚均为 3 mm,螺距为 1:1。

1.3 靶区与 OARs 勾画

直肠癌术前放疗靶区定义参考 ICRU 83 报告^[11]。大体肿瘤靶区(GTV)包括 CT 和 MR 所显示的直肠肿瘤原发灶和肿大淋巴结。临床靶体积(CTV):CTV1 包括 GTV 及其侵犯层面的直肠系膜区和骶前区以及头脚方向 2~5 cm 所包括的乙状结肠、直肠肛管和直肠系膜区;CTV2 包括整个直肠及系膜区、髂内淋巴结、部分闭孔淋巴结、骶前区淋巴结和部分髂外淋巴结,中下部分包括骶孔、尾骨和膀胱后壁 ≥ 1 cm,男性

患者还包括前列腺后缘和精囊腺后份,女性患者包括阴道后壁及宫颈后缘,其上界至髂总动脉分叉处以上(多数位于第5腰椎中份),包括直肠乙状结肠交界处(整个直肠及系膜区)及整个直肠系膜。计划靶区(PTV)分为PTV1和PTV2,分别为CTV1和CTV2外放一定范围,即头脚、左右、前后各扩0.6 cm。OARs包括膀胱、直肠、结肠、双侧股骨头和脊髓,其中小肠勾画至PTV2上3 cm。

1.4 治疗计划设计

1.4.1 TP IMRT和VMAT两组所有的计划都是在Varian加速器的Eclipse治疗计划系统(Version 14.6, USA)中设计。IMRT采用5野等间距共面6 MV光子束照射,VMAT采用2个360°弧旋转照射。计划处方剂量:PTV1为50 Gy/25 f;PTV2为45 Gy/25 f。对所有IMRT和VMAT计划进行直接机器参数优化,要求95%等剂量线能覆盖100%靶区体积,OARs采取正常组织器官耐受剂量标准来限制:小肠限量5%体积所受最低剂量($D_{5\%}$) ≤ 50 Gy,最大剂量(D_{max}) ≤ 55 Gy,膀胱限量 $D_{5\%} \leq 50$ Gy, $D_{max} \leq 55$ Gy,股骨头 $D_{5\%} \leq 45$ Gy等。计划完成后由医生审核确认,以获得临床TP并经过计划剂量验证后实施治疗。

1.4.2 RP 由1名有10年经验的计划设计者对上述20例已经用于临床治疗的IMRT和VMAT计划进行重新优化,保持照射技术和照射野条件不变,根据个人经验重新调整计划优化条件和参数,直到OARs剂量尽可能低,且不影响PTV的目标覆盖率。最后进行最终的剂量计算,并获取新的RP。

1.5 计划质量评估

1.5.1 剂量参数评估 使用剂量体积直方图(DVH)对靶区剂量分布和OARs受照射剂量进行评估。

靶区的评估参数:靶区的适形度指数(CI)和均匀性指数(HI),98%靶区体积接受的剂量($D_{98\%}$)、靶区处方剂量覆盖的靶区百分体积($V_{100\%}$)、最小剂量(D_{min})、最大剂量(D_{max})和平均剂量(D_{mean})。CI和HI根据以下公式进行计算^[12-13]:

$$CI = \frac{TV_{R1}}{TV} \times \frac{TV_{R1}}{V_{R1}}$$

(1)

$$HI = (D_{2\%} - D_{98\%})/D_p$$

(2)

其中,TV是PTV的体积(cm^3), V_{R1} 是处方剂量等剂量线所包绕的体积(cm^3), TV_{R1} 是处方剂量等剂量线所包绕的靶区体积(cm^3); $D_{2\%}$ 是2% PTV体积接受的剂量, $D_{98\%}$ 是98% PTV体积接受的剂量, D_p 是处方剂量。CI和HI均为无量纲数值,CI越趋近1表示靶区剂量适形性越好,HI越趋近0表示靶区剂量均匀性越好。

OARs评价参数:参考RTOG 0822协议^[14],比较

膀胱的剂量百分体积 V_{xGy} (x Gy剂量的百分体积或绝对体积, V_{30Gy} 、 V_{40Gy} 、 V_{45Gy})和平均剂量(D_{mean});小肠和结肠 V_{40Gy} 、 V_{45Gy} 和 D_{max} ;左/右侧股骨头的 V_{30Gy} 。

1.5.2 计划整体质量评分 采用PlanIQ软件(Sun nuclear, USA)对两组所有TP和RP分别进行评估和打分。在PlanIQ软件中,首先建立分段函数或线性函数用于评价各器官各类剂量学指标,并给每一个剂量学参数标准设置一个相应的打分函数,以进行各参数指标的打分。另外,在PlanIQ软件可以将计划的各项剂量学指标得分整合形成一个计划质量评估标准和得分评价,从而可对计划整体质量进行自动评分,获得计划质量指数(PQI),实现计划质量的量化评价^[15]。本研究中PlanIQ对于直肠癌放疗计划采用20个剂量参数指标(表1),并分别制作对应的打分函数,总权重分为100,总分也为100。在计划评估中,靶区剂量覆盖率属于首要评估标准,所以权重分给予最高的15,其余的OARs及CI、HI指标均给予2~5分权重分。此权重分可根据串并行器官或病人实际情况进行特异性修改。

1.6 统计学分析

采用SPSS软件(Version 25, SPSS Inc, Chicago, IL)对数据进行统计学处理,TP计划和RP计划两组之间行非参数Wilcoxon符号秩检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两种计划的剂量学比较

分别比较了两组调强放疗技术(IMRT和VMAT)的TP和RP计划的DVH参数。对于IMRT计划组,RP的DVH参数整体优于TP,其中PTV1的 $V_{100\%}$ 、小肠的 V_{45Gy} 和 D_{max} 以及结肠的 V_{45Gy} 的差异具有统计学意义($P < 0.05$)。对于VMAT计划组,RP的DVH参数也整体优于TP,其中PTV1的CI和左股骨头的 V_{30Gy} 的差异具有统计学意义($P < 0.05$)。对于所有患者计划比较,RP的DVH参数整体优于TP,其中在PTV1的 D_{max} 、小肠的 V_{45Gy} 和 D_{max} 以及结肠的 V_{45Gy} 的差异具有统计学意义($P < 0.05$)。详见表2。

2.2 两种计划的PQI比较

分别比较了两组调强放疗技术(IMRT和VMAT)的TP和RP的PQI,结果显示IMRT组、VMAT组和所有患者的RP的PQI均高于TP,差异具有统计学意义($P < 0.05$,表3)。

3 讨论

放疗计划最终目标是满足PTV的处方剂量,同时尽量减少OARs的剂量。然而因计划复杂程度和

表1 PlanIQ 软件中计划质量评分函数的设置
Table 1 Setting of plan quality scoring function in PlanIQ software

PTV/OARs	参数	Max Score		Linear Score		Failure mode	
		Criterion	Score	Criterion	Score	Criterion	Score
PTV1	V _{100%}	≥100%	15	95%~100%	0.1~15 (linear)	<95%	0
	D _{max}	≤55 Gy	5	NA	NA	>55 Gy	0
	D _{min}	≥47.5 Gy	5	NA	NA	<47.5 Gy	0
	D _{mean}	≥50 Gy	5	NA	NA	<50 Gy	0
	CI	1	5	0~1	0.1~4.9 (linear)	NA	NA
	HI	0	5	0~1	0.1~4.9 (linear)	NA	NA
PTV2	V _{100%}	≥100%	15	95%~100%	0.1~15 (linear)	<95%	0
	D _{min}	≥42.75 Gy	5	NA	NA	<42.75 Gy	0
	CI	1	5	0~1	0.1~4.9 (linear)	NA	NA
	V _{35 Gy}	≤180 cc	2	180~200 cc	0.1~1.9 (linear)	>200 cc	0
小肠	V _{40 Gy}	≤100 cc	2	100~120 cc	0.1~1.9 (linear)	>120 cc	0
	V _{45 Gy}	≤65 cc	2	65~75 cc	0.1~1.9 (linear)	>75 cc	0
	D _{max}	≤50 Gy	4	NA	NA	>50 Gy	0
直肠	V _{35 Gy}	≤180 cc	2	180~200 cc	0.1~1.9 (linear)	>200 cc	0
	V _{40 Gy}	≤100 cc	2	100~120 cc	0.1~1.9 (linear)	>120 cc	0
	V _{45 Gy}	≤65 cc	2	65~75 cc	0.1~1.9 (linear)	>75 cc	0
	D _{max}	≤50 Gy	4	NA	NA	>50 Gy	0
膀胱	V _{45 Gy}	≤15%	5	15%~30%	0.1~4.9 (linear)	>30%	0
左股骨头	V _{30 Gy}	≤15%	5	15%~30%	0.1~4.9 (linear)	>30%	0
右股骨头	V _{30 Gy}	≤15%	5	15%~30%	0.1~4.9 (linear)	>30%	0

设计者经验不同,导致计划质量得不到最优解的保证,增加了患者并发症的风险^[16]。采用人工智能自动计划设计方法可以提高计划效率的同时提高计划质量,因为深度学习方法能够捕获数据中输入和输出变量之间基本关系和模式,只要有高质量的数据可用,就可以建立模型准确预测计划过程中每一步的关键变量,从而实现自动化并改进其结果^[17]。然而,在开发临床人工智能工具的道路上面临着诸多挑战,其中最关键的因素是提供高质量的数据集进行算法训练和验证^[10, 18]。因此,如何对临床放疗计划进行再优化和筛选是建立优质智能自动计划模型的基础和关键问题。本研究通过 PlanIQ 软件定量评价临床计划的质量,并通过计划再优化方法进一步提高临床计划质量,以筛选出优质的用于深度学习模型训练的放疗计划数据。

目前,放疗计划质量评价主要是定性评价,缺少量化的评价方法^[19]。相对于传统的计划评价,本研究采用 PlanIQ 软件量化地评价计划质量的方法具有较大优势。首先,PlanIQ 软件可以给出计划质量的具

体评估值,而传统的计划评价,计划质量结果只有接受和不接受两种。然而,不同的计划都可能满足覆盖肿瘤靶区的要求,但 OARs 的剂量分布可能相差很大。其次,由于计划设计者无法预测患者特异性 OARs 的剂量限制有多低,他们通常根据标准方案设置初始约束,然后在优化过程中反复调整,以实现不同兴趣区域的最佳权衡^[10],但这无法判断计划质量是否达到最优。PlanIQ 量化评价方法还可以帮助减少放疗中心内(间)同类计划之间的差异,有利于控制同类计划结果的相互一致性,提升放疗计划的整体质量^[19]。

陈利等^[19]研究指出即使参考国际临床试验协议进行计划设计和评价,其计划质量同样存在明显提升空间。目前,常通过高年资物理师独立审核方式控制和提高计划质量,但是这需要额外的人力和时间,在临床上往往也难以判断计划质量是否有进一步提升空间。有研究报道通过采用量化指标^[20-21]和建立统计模型^[22-23]进行计划质量评价和控制。本研究首先通过有经验的物理师对临床计划再优化,并

表2 TP与RP的剂量学DVH参数比较
Table 2 Comparison of DVH parameters between TP and RP

PTV/OARs		IMRT			VMAT			所有患者		
		TP	RP	P值	TP	RP	P值	TP	RP	P值
PTV1	V _{100%} /%	99.86±0.20	99.93±0.17	0.046	99.85±0.34	99.88±0.20	0.461	99.86±0.19	99.94±0.12	0.317
	D _{max} /Gy	53.51±0.54	53.39±0.55	0.092	53.73±0.63	53.83±0.55	0.262	53.83±0.55	53.73±0.63	0.046
	D _{min} /Gy	49.80±0.38	49.89±0.39	0.153	49.72±0.44	49.65±0.43	0.540	49.65±0.43	49.72±0.44	0.125
	D _{mean} /Gy	52.13±0.40	51.99±0.53	0.285	52.13±0.40	51.99±0.53	0.799	51.97±0.44	52.08±0.33	0.263
	CI	0.81±0.06	0.82±0.05	0.445	0.82±0.05	0.84±0.04	0.028	0.81±0.06	0.83±0.05	0.057
	HI	0.05±0.01	0.05±0.01	0.589	0.06±0.01	0.06±0.01	0.180	0.06±0.01	0.05±0.01	0.813
PTV2	V _{100%} /%	99.67±0.37	99.70±0.30	0.564	99.68±0.24	99.77±0.13	0.157	99.67±0.30	99.74±0.23	0.180
	D _{min} /Gy	42.90±1.96	43.27±1.22	0.610	42.16±0.70	42.28±1.25	0.285	42.53±1.48	42.78±1.30	0.490
	CI	0.90±0.05	0.91±0.03	0.386	0.91±0.04	0.93±0.03	0.285	0.91±0.05	0.92±0.03	0.179
小肠	V _{35 Gy} /cc	47.52±35.13	47.85±41.11	0.445	78.07±83.00	70.16±81.12	0.575	0.82±0.05	0.82±0.05	0.313
	V _{40 Gy} /cc	34.92±27.78	34.91±32.02	0.445	55.19±62.14	51.20±62.34	0.445	45.06±47.98	46.06±48.96	0.218
	V _{45 Gy} /cc	24.17±21.79	21.35±20.63	0.005	38.02±45.65	36.05±45.21	0.374	31.10±35.53	28.70±35.02	0.005
	D _{max} /Gy	49.63±1.83	49.00±2.17	0.008	50.94±1.87	50.16±2.20	0.059	50.29±1.92	49.58±2.21	0.002
结肠	V _{35 Gy} /cc	81.91±53.44	81.20±53.73	0.445	85.30±53.66	85.60±55.30	0.575	83.61±52.15	83.40±53.11	0.455
	V _{40 Gy} /cc	71.09±47.29	70.09±48.38	0.508	77.42±45.61	77.42±45.81	0.445	74.25±45.33	73.76±46.01	0.351
	V _{45 Gy} /cc	60.19±44.45	58.19±45.08	0.012	70.02±38.08	69.15±37.37	0.093	65.10±40.59	63.67±40.69	0.002
	D _{max} /Gy	52.29±1.47	52.11±1.30	0.285	53.44±0.80	53.81±0.57	0.093	52.87±1.30	52.96±1.31	0.681
膀胱	V _{45 Gy} /%	28.35±8.17	28.13±9.22	0.675	26.07±11.45	24.66±11.33	0.172	27.21±9.75	26.40±10.21	0.193
左股骨头	V _{30 Gy} /%	2.52±2.11	2.15±1.71	0.129	3.08±2.18	2.83±1.49	0.038	2.80±2.11	2.49±1.60	0.088
右股骨头	V _{30 Gy} /%	2.10±1.87	2.10±2.14	0.783	2.70±2.58	1.93±1.68	0.059	2.40±2.21	2.02±1.88	0.327

TP:治疗计划;RP:再优化计划;DVH:剂量体积直方图

表3 TP与RP的PQI比较
Table 3 Comparison of PQI between TP and RP

分组	TP	RP	t值	P值
IMRT	86.61±4.63	88.55±3.35	-2.803	0.005
VMAT	87.21±3.04	89.72±3.15	2.192	0.028
所有患者	86.91±3.22	89.14±3.22	-3.340	0.001

TP:治疗计划;RP:再优化计划;PQI:计划质量指数

结合 PlanIQ 定量评估软件,有效地筛选出优于临床计划的计划。首先,分别比较了两组调强放疗技术(IMRT和VMAT)的TP和RP的DVH参数,结果显示对于IMRT/VMAT计划组,RP的DVH参数整体优于TP。其次,分别比较了两组调强放疗技术(IMRT和VMAT)的TP和RP的PQI,结果显示IMRT组、VMAT组和所有患者计划的RP的PQI均高于TP,差异具有统计学意义。

综上所述,本研究通过计划再优化方法和PlanIQ

定量评估方法,能够在提高计划质量的同时实现对放疗计划质量的量化评价,为建立智能自动计划模型筛选出优质的训练计划数据提供了一种可行方法。

【参考文献】

[1] Vendrely V, Rivin Del Campo E, Modesto A, et al. Rectal cancer radiotherapy[J]. Cancer Radiother, 2022, 26(1-2): 272-278.

[2] Ng SY, Colborn KL, Cambridge L, et al. Acute toxicity with intensity modulated radiotherapy versus 3-dimensional conformal radiotherapy during preoperative chemoradiation for locally advanced rectal cancer [J]. Radiother Oncol, 2016, 121(2): 252-257.

[3] Hanna CR, Slevin F, Appelt A, et al. Intensity-modulated radiotherapy for rectal cancer in the UK in 2020[J]. Clin Oncol, 2021, 33(4): 214-223.

[4] Dapper H, Rodríguez I, Münch S, et al. Impact of VMAT-IMRT compared to 3D conformal radiotherapy on anal sphincter dose distribution in neoadjuvant chemoradiation of rectal cancer[J]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 237.

[5] Modiri A, Vogelius I, Rechner LA, et al. Outcome-based multiobjective optimization of lymphoma radiation therapy plans[J]. Br J Radiol, 2021, 94(1127): 20210303.

[6] Wang Q, Wang R, Liu J, et al. High-dimensional automated radiation therapy treatment planning via Bayesian optimization[J]. Med Phys, 2023, 50(6): 3773-3787.

- [7] Karaca S, Aysenur Arli Karacam K. A comparison of dosimetric and clinical parameters between different IMRT boost techniques in preoperative rectal cancer[J]. J BUON, 2021, 26(4): 1231-1238.
- [8] 李楠. 放射治疗计划的自动优化及再优化关键技术研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2014.
Li N. Research on key technologies for automatic optimization and re-optimization of radiation therapy plans[D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2014.
- [9] Batumalai V, Jameson MG, Forstner DF, et al. How important is dosimetrist experience for intensity modulated radiation therapy? A comparative analysis of a head and neck case[J]. Pract Radiat Oncol, 2013, 3(3): e99-e106.
- [10] Li G, Wu X, Ma X. Artificial intelligence in radiotherapy[J]. Semin Cancer Biol, 2022, 86 (Pt 2): 160-171.
- [11] Hodapp N. The ICRU Report 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensitymodulated radiation therapy (IMRT) [J]. Strahlenther Onkol, 2012, 188(1): 97-99.
- [12] Feuvret L, Noël G, Mazeron JJ, et al. Conformity index: a review[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 64(2): 333-342.
- [13] Kataria T, Sharma K, Subramani V, et al. Homogeneity Index: an objective tool for assessment of conformal radiation treatments[J]. J Med Phys, 2012, 37(4): 207-213.
- [14] Garofalo M, Moughan J, Hong T, et al. RTOG 0822: a phase II study of preoperative (PREOP) chemoradiotherapy (CRT) utilizing IMRT in combination with capecitabine (C) and oxaliplatin (O) for patients with locally advanced rectal cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 81(2): S3-S4.
- [15] Plan IQ reference guide[R]. Sun Nuclear Corporation, 2015.
- [16] Moore KL, Schmidt R, Moiseenko V, et al. Quantifying unnecessary normal tissue complication risks due to suboptimal planning: a secondary study of RTOG 0126[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2015, 92(2): 228-235.
- [17] Sheng Y, Zhang J, Ge Y, et al. Artificial intelligence applications in intensity modulated radiation treatment planning: an overview[J]. Quant Imaging Med Surg, 2021, 11(12): 4859-4880.
- [18] Huynh E, Hosny A, Guthier C, et al. Artificial intelligence in radiation oncology[J]. Nat Rev Clin Oncol, 2020, 17(12): 771-781.
- [19] 陈利, 姚杏红, 李章民, 等. 食管癌调强放射治疗计划质量的量化评价和质量控制研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2022, 29(22): 1601-1606.
Chen L, Yao XH, Li ZM, et al. Quantitative evaluation and quality control of intensity modulated radiation therapy plan for esophageal cancer[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2022, 29(22): 1601-1606.
- [20] 贺睿敏, 杨晓喻, 李书舟, 等. 基于PQM脚本进行直肠癌放疗计划定量评价的研究与应用[J]. 现代肿瘤医学, 2021, 29(2): 331-334.
He RM, Yang XY, Li SZ, et al. Research of quantitative evaluation of radiotherapy for rectal cancer based on PQM script[M]. Journal of Modern Oncology, 2021, 29(2): 331-334.
- [21] 夏文龙, 陈波, 黄鹏, 等. 基于计划质量度量(PQM)量化比较有无均整器模式下肝癌容积旋转调强放疗计划[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2018, 38(9): 680-683.
Xia WL, Chen B, Huang P, et al. Quantitative comparison of volumetric-modulated arc therapy plans for liver cancer using flattening filter-free and flattening filter modes based on plan quality metric (PQM)[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2018, 38(9): 680-683.
- [22] Zhang J, Wu QJ, Ge Y, et al. Knowledge-based statistical inference method for plan quality quantification[J]. Technol Cancer Res Treat, 2019, 18: 1533033819857758.
- [23] Kubo K, Monzen H, Ishii K, et al. Inter-planner variation in treatment-plan quality of plans created with a knowledge-based treatment planning system[J]. Phys Med, 2019, 67: 132-140.

(编辑:黄开颜)