

## 基于第一分次目标函数的鼻咽癌后续多分次自动计划

程晶晶<sup>1</sup>, 翁星<sup>1</sup>, 戴艺涛<sup>2</sup>, 柏朋刚<sup>2</sup>, 李奇欣<sup>2</sup>, 陈济鸿<sup>2</sup>, 曹叶<sup>3</sup>

1. 南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 福建省肿瘤医院放疗科, 福建 福州 350014; 3. 厦门弘爱医院, 福建 厦门 361000

**【摘要】目的:**利用Perl语言编写Pinnacle计划系统脚本的嵌入式自动化程序,进行多分次鼻咽癌调强治疗计划快速自动设计,研究多分次自动计划设计的可行性及设计效率。**方法:**选取14例鼻咽癌患者,每例患者均在整个治疗过程中接受4次CT模拟图像(分别为CT1、CT2、CT3、CT4)。在Pinnacle计划系统(9.2m版本)上基于首次CT模拟图像(CT1)手工设计出满足处方剂量和危及器官剂量限制要求的调强放疗计划,并将CT1上手工计划的目标函数设置参数用Perl语言写入Pinnacle计划系统脚本,应用于同一患者的后续3个分次间CT图像(CT2、CT3、CT4)的自动计划设计。同时,由工作经验分别为不足1年和大于5年的两位物理师基于CT2独立设计手工计划,标记为Ma和Mb组。自动计划与手工计划的设计时间进行配对 $t$ 检验。另外,由一名工作经验为10年以上的临床放疗医师评估手工计划和自动计划的临床可行性。**结果:**在CT2、CT3和CT4上设计的自动计划时间与Ma、Mb组的手工计划时间分别为(3.358±0.490)、(2.837±0.340)、(2.754±0.270)、(43.169±8.980)、(39.088±13.210) min,可应用于临床的计划所占比例分别为78.6%、78.6%、71.4%、78.6%、78.6%,且自动计划比手工计划在时间上有明显减少( $P<0.05$ )。**结论:**利用Perl语言基于第一分次的目标函数编写的自动化程序,可以完成后续多分次鼻咽癌自动计划设计。运用自动计划能够节省计划人员大量的计划设计时间,保证计划的设计质量,并为鼻咽癌多分次快速放疗计划设计提供一种便捷方案。

**【关键词】**鼻咽癌;调强放疗;自动计划;目标函数

**【中图分类号】**R739.62

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2018)12-1386-06

## Successive multi-fractionated autoplanning for nasopharyngeal carcinoma based on the first fractionated objective function

CHENG Pinjing<sup>1</sup>, WENG Xing<sup>1</sup>, DAI Yitao<sup>2</sup>, BAI Penggang<sup>2</sup>, LI Qixin<sup>2</sup>, CHEN Jihong<sup>2</sup>, CAO Ye<sup>3</sup>

1. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China; 2. Department of Radiation Oncology, Fujian Cancer Hospital, Fuzhou 350014, China; 3. Xiamen Humanity Hospital, Xiamen 361000, China

**Abstract: Objective** To evaluate the feasibility and efficiency of multi-fractionated autoplanning on nasopharyngeal carcinoma (NPC) with Perl-based scripts in Pinnacle treatment planning system. **Methods** A total of 14 NPC patients were selected, and 4 sets of simulated CT images (CT1, CT2, CT3 and CT4) for each patient were derived during the treatment. Each radiotherapy plan on its first set of simulated CT images (CT1) was manually created according to the prescribed dose to target areas and dose constraints to organs-at-risk on Pinnacle treatment planning system (version 9.2m), while the setting of objective functions on the manual plan were read with Perl into scripts of Pinnacle planning system and applied for autoplanning on the 3 successive sets of CT images (CT2, CT3 and CT4) of the same patient. Manual plans based on CT2 were executed by 2 radiation physicists with experiences less than 1 year and more than 5 years, and the plans were grouped into Ma and Mb. The paired  $t$  test was used to evaluate the time for manual planning and autoplanning. In addition, the feasibility of manual planning and autoplanning were evaluated by an experienced radiation oncologist with experience over 10 years. **Results** For the automated plans based on CT2, CT3, CT4 and manual plans from Ma and Mb, the planning times were (3.358±0.490), (2.837±0.340), (2.754±0.270), (43.169±8.980), (39.088±13.210) min, respectively, and the percentage of the number of clinically available plans were 78.6%, 78.6%, 71.4%, 78.6%, 78.6%, respectively. The autoplanning significantly reduced planning time compared to manual planning ( $P<0.05$ ). **Conclusions** The automated plans based on successive sets of CT images for NPC can be achieved using the auto-programming based on the first set of CT images with Perl-based scripts. The application of autoplanning not only saves planners

**【收稿日期】**2018-07-11

**【基金项目】**福建省自然科学基金(2015Y0010);福建省卫生计生中青年骨干人才培养项目(2017-ZQN-15)

**【作者简介】**程晶晶,博士,副教授,主要研究方向:核技术应用,E-mail: nhuchpj@aliyun.com

**【通信作者】**柏朋刚,高级工程师,主要研究方向:医学物理,E-mail: littlewind@sina.cn

plenty of time but also guarantees the quality of planning, providing an easier and quicker approach for multi-fractionated radiotherapy planning for NPC.

**Keywords:** nasopharyngeal carcinoma; intensity-modulated radiotherapy; autoplanning; objective function

## 前言

近年来放射治疗技术飞速发展,调强放射治疗(IMRT)在国内已广泛应用于大多数癌症治疗中心<sup>[1-6]</sup>。IMRT在提高复杂肿瘤靶区剂量适形性的同时,有效减少了危及器官的照射剂量,大大提高放射治疗的疗效,从而进一步改善患者的生存质量<sup>[7-8]</sup>。但是手工设计IMRT计划,尤其是针对靶区复杂和危及器官众多的鼻咽癌,是一个步骤繁琐冗杂且不断试错的过程,耗时长且容易出错<sup>[9]</sup>。此外,为了使复杂的靶区与危及器官的剂量达到相持平衡,即使是经验丰富的放疗物理师也需要进行多轮的试错优化才能得到一个最优或者接近最优的放疗计划。因此,研究人员希望开发出IMRT计划的自动化设计程序,以提高计划设计的效率。国内外不少癌症研究所已经应用计划系统脚本进行自动放疗计划流程设计,并证明此方法的可行性好且可以大大提高效率<sup>[10-15]</sup>。柏朋刚<sup>[16]</sup>研究表明,C++语言与Pinnacle计划系统脚本结合进行鼻咽癌IMRT自动计划,可以获得比较好的设计结果。另外,文献<sup>[17-18]</sup>表明,鼻咽癌在整个放疗过程中,靶区一般有明显的缩小,危及器官也会存在解剖学结构的变化,治疗过程中腮腺和脑干的剂量会显著增加。为了进一步缩小靶区的照射范围和减少危及器官的受照剂量,进行多分次的放疗计划设计是有必要的<sup>[19-20]</sup>。

本文利用自主开发的基于Perl语言程序与Pinnacle计划系统脚本结合的嵌入式自动化程序,进行鼻咽癌的多分次自动IMRT设计,验证同一病例的后续多分次自动计划设计的可行性及设计效率。

## 1 材料与方法

### 1.1 CT图像资料

选取自2014年7~9月在福建省肿瘤医院收治的初诊鼻咽癌患者14例,年龄21~50岁(中位年龄45岁),其中男13例,女1例。利用飞利浦大孔径CT-sim扫描,取仰卧位,在患者治疗期间进行4次CT模拟定位扫描,分别为诱导化疗前(CT1)、放疗前(CT2)、放疗剂量达到40 Gy时(CT3)、放疗结束(CT4)。CT图像传输至Pinnacle3(版本9.2m)计划系统,进行靶区和危及器官勾画,然后进行计划设计。

### 1.2 靶区和危及器官勾画

临床放疗医师用CT和MRI配准,根据福建省肿瘤医院标准勾画靶区。勾画的靶区有鼻咽癌原发灶、临床靶区以及颈部左右侧淋巴结转移灶以及其临床靶区。靶区画完以后外扩3 mm生成相应的GTV\_T\_P、CTV1\_P、CTV2\_P、GTV\_NL\_P、GTV\_NR\_P、CTV\_NL\_P和CTV\_NR\_P。勾画的危及器官包括左右侧腮腺(PG\_L和PG\_R)、脑干(Stem)、脊髓(Cord)、左右晶体(Lens\_L和Lens\_R)、左右视神经(ON\_L和ON\_R)、视交叉(Chi)等。

### 1.3 治疗方式

治疗机器为瑞典医科达公司的加速器Synergy TM,治疗方式为七野共面6 MV光子调强放疗;射野方向分别固定选择为210°、260°、310°、0°、52°、104°、156°,初始射野权重均分;治疗分次33次;射野优化类型为直接机器参数优化(DMPO),初始最大迭代次数50次,卷积剂量迭代次数10次,最大子野数50个,最小子野面积9 cm<sup>2</sup>以及最小子野跳数为9 MU。

### 1.4 靶区的剂量要求和危及器官的剂量限制要求

靶区剂量GTV\_T\_P要求D<sub>95</sub>>6 996 cGy,CTV1\_P要求D<sub>95</sub>>6 072 cGy,CTV2\_P要求D<sub>95</sub>>5 610 cGy,GTV\_NL\_P/GTV\_NR\_P要求D<sub>95</sub>>6 600 cGy,CTV\_NL\_P/CTV\_NR\_P要求D<sub>95</sub>>5 280 cGy;Stem限值D<sub>max</sub><5 000 cGy,Cord限值D<sub>max</sub><4 000 cGy,PG\_L/PG\_R限值V<sub>30</sub><50%,Lens\_L/Lens\_R限值D<sub>max</sub><500 cGy,ON\_L/ON\_R限值D<sub>max</sub><6 200 cGy,Chi限值D<sub>max</sub><6 200 cGy。

### 1.5 脚本工具

Perl语言与Pinnacle计划系统脚本结合的嵌入式自动化程序。脚本内容具体包括:(1)切除床板与设置等中心点;(2)靶区与器官名称的统一与外扩辅助环;(3)设置射野数量、角度和权重;(4)设置剂量计算网格和处方剂量;(5)设置等剂量线;(6)设置迭代次数、优化方式及子野参数;(7)输入目标函数;(8)生成DVH图和自动计划设计时间。

### 1.6 方法

在首次CT扫描序列(CT1)上手工完成IMRT计划设计,设定靶区的目标函数项(表1),同时设定所有危及器官剂量限制要求的目标函数。在14例病人的CT1上手动不断试错进行多轮优化后,制定出符合临床要求的放疗计划,并将计划完成后的目标函数设置参数写入脚本文件。同时将CT1上IMRT计

划的靶区名称、射野数量、射野角度、处方总分次、最大迭代次数等参数设置按格式写入脚本文件。利用 Perl 程序读取脚本文件,在只优化一轮的情况下,自动生成相应的每位患者的后续 CT2、CT3 和 CT4 上的计划,并自动获取 DVH 数据和计划设计时间。后续多分次自动计划设计流程如图 1 所示。

表 1 靶区的目标函数设置参数  
Tab.1 Set-up parameters of objective function for target areas

GTV_T_P	CTV1_P	CTV2_P	GTV_NL_P	GTV_NR_P	CTV_NL_P	CTV_NR_P
MaxDVH	MaxDVH	MaxDVH	MaxDVH	MaxDVH	MaxDVH	MaxDVH
MinDVH	MinDVH	MinDVH	MinDVH	MinDVH	MinDVH	MinDVH
Uniform Dose	/	/	Uniform Dose	Uniform Dose	/	/

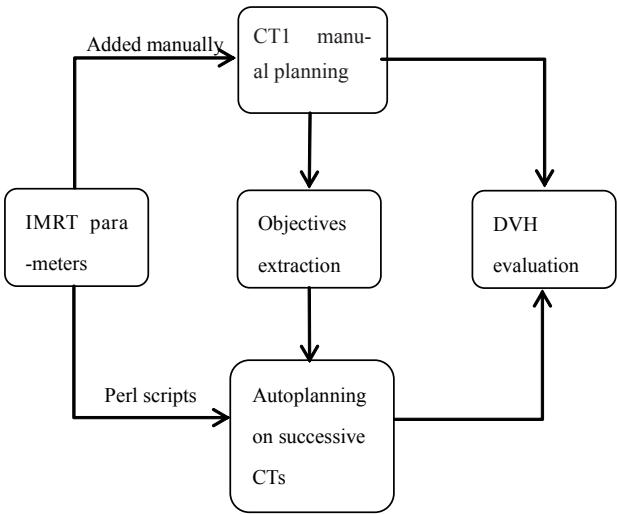


图 1 后续多分次自动计划流程图  
Fig.1 Procedures of successive multi-fractionated autoplanning

另外,由两位工作经验分别小于 1 年和大于 5 年的物理师独立基于 CT2 进行手工计划设计,并将计划标记为 Ma 和 Mb。在 CT2 手工计划设计过程中,保证射野数量、射野角度、处方总分次、最大迭代次数等设置参数与 CT1 上手工计划相同。但是这个过程允许进行多轮优化,但需要记录点击优化次数和计划完成所需的手工计划设计时间。由一位工作经验 10 年以上的临床放疗医师根据 DVH 图及靶区的剂量要求和危及器官的剂量限制要求分析以上 14 例病例的手工计划(CT1、Ma、Mb)和自动计划(CT2、CT3、CT4)的临床可行性。

1.7 统计学方法

应用 SPSS 16.0 统计学软件对手工计划(Ma、Mb)和自动计划(CT2、CT3、CT4)的时间进行两两配对 *t* 检验, *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 时间及优化次数

CT2、CT3 和 CT4 的 14 例病例的平均自动优化时间分别为(3.358±0.490)、(2.837±0.340)和(2.754±0.270) min, Ma 和 Mb 基于 CT2 的平均手工设计计划时间为(43.169±8.980)和(39.088±13.210) min,如表 2 所示。Ma 和 Mb 的平均优化次数分别为(4.6±1.8)和(3.9±1.3)次。

表 2 14 例病例 CT2、CT3、CT4、Ma、Mb 的优化时间及平均优化时间(min)

Tab.2 Optimization time and average optimization time of CT2, CT3, CT4, Ma, Mb in 14 cases (min)

Case	CT2	CT3	CT4	Ma	Mb
1	4.300	2.930	2.800	51.650	68.150
2	3.567	3.633	3.250	50.917	37.800
3	3.800	2.767	2.700	37.333	36.133
4	4.167	2.567	2.583	31.700	27.983
5	3.483	2.950	2.600	40.083	59.733
6	2.850	2.450	2.483	31.183	48.150
7	3.183	2.417	2.517	40.533	28.200
8	2.783	3.400	2.517	52.717	26.250
9	3.183	2.517	2.600	38.617	24.983
10	3.317	2.833	2.733	28.500	50.783
11	3.017	2.800	3.117	53.983	35.233
12	3.333	2.700	2.717	43.700	42.233
13	3.417	3.017	3.267	50.983	30.067
14	2.617	2.733	2.667	52.467	31.533
Average	3.358	2.837	2.754	43.169	39.088

2.2 临床可行性与优化次数

14 例病例的手工计划(CT1、Ma、Mb)和自动计划(CT2、CT3、CT4)的临床可行性如表 3 所示。CT1、

CT2、CT3、CT4、Ma、Mb在临床上可应用的合格率为71.43%、78.57%、78.57%、71.43%、78.57%和78.57%。

表3 14例病例的手工计划和自动计划的临床可行性

Tab.3 Clinical availability of manual and automated plans in 14 cases

Case	CT1	CT2	CT3	CT4	Ma	Mb
1	×	×	√	×	×	×
2	√	√	√	√	√	√
3	√	√	√	√	√	√
4	√	√	√	×	√	√
5	×	×	×	√	×	×
6	√	√	√	√	√	√
7	√	√	√	√	√	√
8	√	√	√	√	√	√
9	√	√	√	√	√	√
10	√	√	√	√	√	√
11	×	√	×	×	√	√
12	√	√	√	√	√	√
13	√	√	√	√	√	√
14	×	×	×	×	×	×
Results/%	71.43	78.57	78.57	71.43	78.57	78.57

√: Clinically available; ×: Clinically unavailable

## 2.3 几组计划设计时间的配对 *t* 检验

表4给出应用SPSS 16.0统计学软件对手工计划(Ma、Mb)和自动计划(CT2、CT3、CT4)的时间进行两两配对 *t* 检验,并给出 *t* 值和 *P* 值。

## 3 讨论

IMRT 技术提高肿瘤的治愈率,并改善病人的生存质量。本文研究表明,因为需要多步手工设置和反复优化,14例病例的CT2手工计划十分耗时,即便是工作经验大于5年的物理师仍需用时(39.088±13.210) min。而CT2、CT3和CT4平均自动设计时间仅为(3.358±0.490)、(2.837±0.340)和(2.754±0.270) min,与物理师手工计划时间有统计学差异( $P<0.05$ )。这表明自动计划设计能够大大减少物理师手工计划时间,省去冗杂的手工计划设计操作步骤。

本研究显示在14例病例中,基于CT2、CT3和CT4所执行的自动计划分别有11、11和10例病例符合要求,通过率分别为78.57%、78.57%和71.43%。然而Ma和Mb所对应的手工计划中有相同的11例病例符合要求,另有3例未达到要求,符合临床结果的百分比均为78.57%。这说明自动计划在大大减少计划设计时间的同时,其设计的临床计划并不差于有经验的物理师设计的手工计划。另外,Ma和Mb手工计划未通过的病例为病例1、5和14,与CT2自动计

表4 手工计划与自动计划的两两配对 *t* 检验

Tab.4 Paired *t* test for manual and automated plans

Plans	Ma	Mb	CT2	CT3	CT4
Ma	/	0.977( $P=0.345$ )	-17.610( $P<0.010$ )	-18.431( $P<0.010$ )	-18.365( $P<0.010$ )
Mb	/	/	-11.021( $P<0.010$ )	-11.046( $P<0.010$ )	-11.048( $P<0.010$ )
CT2	/	/	/	3.600( $P=0.030$ )	4.701( $P<0.010$ )
CT3	/	/	/	/	1.113( $P=0.284$ )
CT4	/	/	/	/	/

划中未通过病例完全一致。自动计划既省时快速又可以保证质量,说明其能够为鼻咽癌多次快速放疗计划设计提供便利,即便不能一步优化达到要求,也能节省手工试错的次数和时间。

对于病例1、4、5、11和14,存在有计划不符合临床要求的情况,是因为靶区侵犯至脑干周边,使得脑干剂量超过剂量限值 $D_{\max}<5\ 000\ \text{cGy}$ 。在横断面上,靶区与脑干的几何位置关系如图2所示。笔者进一步研究发现,不符合临床要求的计划中CTV2\_P与脑干之间的直线最短距离在0~3 mm。而在病例1、4、

5、11和14中,由于放疗过程中靶区体积减小引起靶区与脑干几何位置关系变化,同一病例中基于4次CT的放疗计划存在临床可接受计划和临床不可接受计划,因而后续基于同一目标函数的CT2和CT3自动计划通过率高于手工CT1<sup>[21]</sup>。此外,由于放疗剂量达到40 Gy时(CT3)的靶区体积相比放疗结束(CT4)并未大幅度减少,靶区与脑干相对距离并未明显增大,所以基于CT4的自动计划通过率(71.4%)并不高于基于CT3的自动计划(78.6%)。在病例12中,因为靶区GTV\_T\_P包绕左右视神经,使得左右视神经超

出剂量限值  $D_{\max} < 6\ 200\ \text{cGy}$ , 左右视神经最大剂量达到  $6\ 400 \sim 6\ 600\ \text{cGy}$ 。为了保证靶区的处方剂量, 临床医师针对病例 12 放宽剂量限制要求, 将病例 12 的手工计划和自动计划视为临床可实施。对于以上病例中靶区与危及器官距离较近或者空间位置有交集

的情况, 靶区要求达到处方剂量与危及器官的剂量限制要求有矛盾的时候, 需要临床医师根据病人的身体状况、病人主观要求等, 做出提高肿瘤控制概率或者减少危及器官并发症概率的权衡选择。

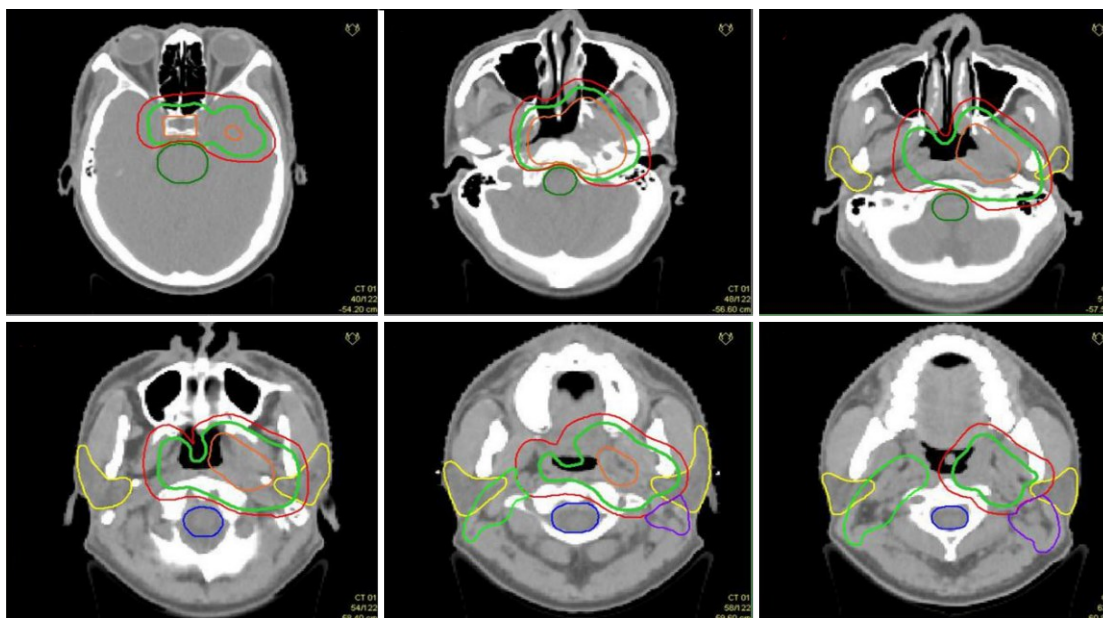


图2 计划靶区与脑干在横断面上的位置关系(从内向外橙色、绿色、红色轮廓为 GTV\_P、CTV1\_P 和 CTV2\_P, 蓝色轮廓为脑干)

Fig.2 Positional relationship between planning target areas and brain stem on different transverse sections (GTV\_P, CTV1\_P, CTV2\_P and brain stem marked by orange, green, red, blue)

在本研究中, 基于 CT1 设计的手工放疗计划中有 10 例符合临床要求。在这 10 例病例的后续多分次计划中, 仅有 1 例(病例 4)的基于图像 CT4 上的放疗计划不具有临床可行性。这说明基于诱导化疗前的 CT 图像制定放射治疗计划的目标函数设置参数基本可以应用于后续多分次 CT 上制定放疗计划。但所制定出的计划未必是最优计划, 对于危及器官受照剂量、靶区适形性、均匀性等可能还存在优化空间, 仍需要进一步调整参数优化。值得注意的是, 本文所设计的自动计划与 Pinnacle 计划系统模板生成计划虽有共同点, 即都用到了 Pinnacle 计划系统的脚本, 但是本文所设计的自动计划应用了 Perl 计算机编程语言来进行患者第一分次目标函数的读取和最终 DVH 数据的输出等操作, 实现人机交互过程, 并可在未来应用于更多的病种和实际的工作中去。而计划系统模板不具有人机交互性, 利用模板生成的计划对应病种单一、使用范围有限。另外, 脚本中射野数量、方向等均为固定设定参数, 所选鼻咽癌病例均含有常见的 7 个标准靶区 (GTV\_T\_P、CTV1\_P、CTV2\_P、GTV\_NL\_P/GTV\_NR\_P 和 CTV\_NL\_P/

CTV\_NR\_P)。因而, 该自动计划无法根据实际情况进行调整, 所以本自动计划设计还具有一些局限性。因此, 我们下一步研究是将计划系统脚本结合先进的算法, 针对个体鼻咽癌病人, 发展一个全自动化、具有针对性的 IMRT 计划, 以提高放疗计划的设计效率。

## 4 结论

总之, 应用本研究设计的基于第一分次目标函数的鼻咽癌后续多分次自动化程序, 不仅能够省去不必要的冗杂手工操作过程, 还能够比手工设计更快捷地实现大部分患者的后续多分次计划设计, 在保证临床可行性的同时更极大地提高计划设计的效率。同时, 为鼻咽癌多次快速放疗计划设计提供一种便捷方案。

## 【参考文献】

- [1] ZHANG F L, ZHENG M M. Dosimetric evaluation of conventional radiotherapy, 3-D conformal radiotherapy and direct machine parameter optimisation intensity-modulated radiotherapy for breast cancer after conservative surgery[J]. J Med Imaging Radiat Oncol,

- 2011, 55(6): 595-602.
- [2] KONG F F, YING H M, DU C R, et al. Patterns of local-regional failure after primary intensity modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Radiat Oncol, 2014, 9(1): 60.
- [3] REN G, XU S P, DU L, et al. Actual anatomical and dosimetric changes of parotid glands in nasopharyngeal carcinoma patients during intensity modulated radiation therapy[J]. Biomed Res Int, 2015: 670327.
- [4] WANG X, LU J, XIONG X, et al. Anatomic and dosimetric changes during the treatment course of intensity-modulated radiotherapy for locally advanced nasopharyngeal carcinoma[J]. Med Dosim, 2010, 35(2): 151-157.
- [5] SUN Y, YU X L, LUO W, et al. Recommendation for a contouring method and atlas of organs at risk in nasopharyngeal carcinoma patients receiving intensity-modulated radiotherapy[J]. Radiother Oncol, 2014, 110(3): 390-397.
- [6] YUE Q, ZHANG M, CHEN Y, et al. Establishment of prognostic factors in recurrent nasopharyngeal carcinoma patients who received salvage intensity-modulated radiotherapy: a meta-analysis[J]. Oral Oncol, 2018, 81: 81-88.
- [7] CHAU R M, TEO P M, KAM M K, et al. Dosimetric comparison between 2-dimensional radiation therapy and intensity modulated radiation therapy in treatment of advanced T-stage nasopharyngeal carcinoma: to treat less or more in the planning organ-at-risk volume of the brainstem and spinal cord[J]. Med Dosim, 2007, 32(4): 263-270.
- [8] TANG L L, CHEN L, MAO Y P, et al. Comparison of the treatment outcomes of intensity-modulated radiotherapy and two-dimensional conventional radiotherapy in nasopharyngeal carcinoma patients with parapharyngeal space extension[J]. Radiother Oncol, 2015, 116(2): 167-173.
- [9] VOET P W, DIRKX M L, BREEDVELD S, et al. Toward fully automated multicriterial plan generation: a prospective clinical study[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2013, 85(3): 866-872.
- [10] SONG Y, WANG Q, JIANG X, et al. Fully automatic volumetric modulated arc therapy plan generation for rectal cancer[J]. Radiother Oncol, 2016, 119(3): 531-536.
- [11] WANG J, CHEN Z, LI W, et al. A new strategy for volumetric-modulated arc therapy planning using AutoPlanning based multicriteria optimization for nasopharyngeal carcinoma[J]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 94.
- [12] WU B B, PANG D L, SIMARI P, et al. Using overlap volume histogram and IMRT plan data to guide and automate VMAT planning: a head-and-neck case study[J]. Med Phys, 2013, 40(2): 021714.
- [13] FAN J, WANG J, ZHANG Z, et al. Iterative dataset optimization in automated planning: implementation for breast and rectal cancer radiotherapy[J]. Med Phys, 2017, 44(6): 2515-2531.
- [14] 何垠波, 张隆彬, 肖江洪, 等. 鼻咽癌自动调强放疗计划设计的可行性[J]. 生物医学工程学杂志, 2015, 32(6): 1288-1293.
- HE Y B, ZHANG L B, XIAO J H, et al. Feasibility of automatic treatment planning in intensity-modulated radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2015, 32(6): 1288-1293.
- [15] XHAFFERLLARI I, WONG E, BZDUSEK K, et al. Automated IMRT planning with regional optimization using planning scripts[J]. J Appl Clin Med Phys, 2013, 14(1): 4052.
- [16] 柏朋刚. 基于数据驱动的鼻咽癌调强计划自动化设计[J]. 医疗装备, 2013, 26(2): 6-9.
- BAI P G. Programming of automatic planning basing on data-driven for intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Medical Equipment, 2013, 26(2): 6-9.
- [17] HAN C, CHEN Y J, LIU A, et al. Actual dose variation of parotid glands and spinal cord for nasopharyngeal cancer patients during radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 70(4): 1256-1262.
- [18] NISHI T, NISHIMURA Y, SHIBATA T, et al. Volume and dosimetric changes and initial clinical experience of a two-step adaptive intensity modulated radiation therapy (IMRT) scheme for head and neck cancer[J]. Radiother Oncol, 2013, 106(1): 85-89.
- [19] WANG W, YANG H, HU W, et al. Clinical study of the necessity of replanning before the 25th fraction during the course of intensity-modulated radiotherapy for patients with nasopharyngeal carcinoma[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 77(2): 617-621.
- [20] ZHANG X, LI M, CAO J, et al. Dosimetric variations of target volumes and organs at risk in nasopharyngeal carcinoma intensity-modulated radiotherapy[J]. Br J Radiol, 2012, 85(1016): e506-e513.
- [21] CHEN C, LIN X, PAN J, et al. Is it necessary to repeat CT imaging and replanning during the course of intensity-modulated radiation therapy for locoregionally advanced nasopharyngeal carcinoma? [J]. Jpn J Radiol, 2013, 31(9): 593-599.
- (编辑: 陈丽霞)