

## 基于Python脚本的RayStation治疗计划系统逆向调强放疗计划半自动设计

邵凯南<sup>1</sup>, 翁邓胡<sup>1</sup>, 李玉成<sup>2</sup>, 杨一威<sup>1</sup>, 李浦<sup>1</sup>

1. 浙江省肿瘤医院放射物理室/浙江省肿瘤放射治疗重点实验室, 浙江 杭州 310022; 2. 南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001

**【摘要】目的:**利用RayStation治疗计划系统提供的基于Python语言的脚本平台,进行逆向调强放疗计划半自动设计。**方法:**以胸部放疗计划设计为例,介绍了RayStation治疗计划系统下利用Python脚本进行半自动计划设计的关键步骤,包括感兴趣区轮廓名称和颜色的标准化、计划的创建和修改、临床目标和优化函数的设置、优化函数的自动更新等。**结果:**通过Python语言可以实现放疗计划制定过程中各步骤的自动化,并编写成可根据处方剂量一键生成放疗计划的脚本程序,支持不同肿瘤类型、处方和其他个性化设置。**结论:**使用Python脚本的半自动计划工具可提高RayStation治疗计划系统下放疗计划制定的效率,物理师可将更多时间留给个体化的计划修改和优化,有利于提高放疗计划的水平。

**【关键词】**胸部肿瘤;调强放射治疗;RayStation治疗计划系统;半自动放疗计划

**【中图分类号】**R730.55

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2018)02-0156-05

## Semi-automatic design of inverse intensity-modulated radiotherapy treatment plans based on Python scripts in RayStation treatment planning system

SHAO Kainan<sup>1</sup>, WENG Denghu<sup>1</sup>, LI Yucheng<sup>2</sup>, YANG Yiwei<sup>1</sup>, LI Pu<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Tumor Radiation Therapy/Department of Radiotherapy Physics, Zhejiang Cancer Hospital, Hangzhou 310022, China; 2. Department of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China

**Abstract: Objective** To semi-automatically design inverse intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plans with the use of Python scripts in RayStation planning system. **Methods** Taking the chest radiotherapy plan as an example, we introduced the key steps of the semi-automated plan design based on Python scripts in RayStation treatment planning system, including the standardization of the name and color of regions of interest, the creation and modification of treatment plan, the setting of clinical goals and optimization functions, and the automatically updating of optimization parameters. **Results** The radiotherapy planning process was automatically completed using Python scripts. Furthermore, an applet was programmed to create plans based on given prescription doses, which supported different tumor types, prescriptions and other personal settings. **Conclusion** The use of semi-automatic planning tools of Python scripts can improve the efficiency of radiotherapy planning in RayStation treatment planning system. Physicists can spare more time for individualized revisions and optimizations, which is beneficial for the improvement of radiotherapy plans.

**Keywords:** chest tumor; intensity-modulated radiotherapy; RayStation treatment planning system; semi-automatic radiotherapy planning

### 前言

随着放射治疗技术的进步,基于X射线直线加速器的调强放疗(Intensity-Modulated Radiotherapy,

IMRT)已经在我国大部分医院中成为肿瘤治疗的主要方式。与以往的三维适形技术相比,IMRT能够形成一定的剂量梯度和靶区适形性,在保证肿瘤靶区剂量的同时,更好地保护周围的正常组织。由于IMRT技术的复杂性,目前放疗计划基本都是通过治疗计划系统(Treatment Planning System, TPS)在计算机上生成的<sup>[1]</sup>。主流的TPS(如Pinnacle、Eclipse、Monaco以及RayStation等)都已经支持逆向IMRT。

**【收稿日期】**2017-09-19

**【基金项目】**浙江省医药卫生科技计划项目(2017PY014)

**【作者简介】**邵凯南,博士,工程师,研究方向:放射物理治疗,E-mail: shaokn@zjcc.org.cn

通过给定肿瘤计划靶区和危及器官(Organs-at-Risk, OAR)的目标函数,TPS通过特定的算法,给出符合剂量分布要求的解,经过放疗医师和物理师评价,以及计划验证后就可以用于临床治疗。其中,Pinnacle和RayStation系统中采用的都是直接机器优化(Direct Machine Parameter Optimization, DMPO)算法<sup>[2]</sup>。在逆向IMRT计划制定时,通常需要临床医师结合其他诊断结果,在患者CT图像上勾画肿瘤靶区和OAR,即感兴趣区(Regions of Interest, ROI)。临床医师确认治疗靶区和OAR后,治疗计划的制定大致还需要以下步骤:辅助结构的创建,治疗方式和照射野布置,优化目标函数的填写,计划的反复优化,并根据优化结果调整射野和目标函数。在这个过程中,虽然主流的TPS都提供了照射野和优化函数的模板功能,但是使用起来并不是特别方便。一方面,不同临床医师对于ROI的命名习惯是不同的,ROI名称不同会导致优化函数模版失效;另一方面,不同的靶区剂量也需要使用不同的模板,使用起来不够灵活,最后会导致模板数量比较多,查找和管理都不方便。针对模板功能的不足,为了减少重复劳动,提高工作效率,TPS还提供了脚本(Script)功能,其中,Pinnacle系统使用的是某种面向对象的脚本<sup>[3]</sup>,Eclipse使用的是C#程序语言<sup>[4]</sup>,而RayStation系统提供了IronPython语言平台,是Python程序语言集成在在Microsoft.Net框架下的实现。与其他脚本相比,Python语言具有易于学习和使用等特点,同时又是一个完整的程序设计语言。利用Python平台结合RayStation系统提供的丰富接口,可以对逆向IMRT计划的各个步骤进行自动化处理。物理师只需预先设定处方剂量等数据,运行编写好的脚本程序即可得到用于初始优化的计划设定,省去多次点击键盘鼠标,切换不同页面的时间,大大提高了工作效率,确保有更多时间投入到后续计划修改和优化中。从质量和效率的角度出发,目前在临床治疗计划制定过程中仍需要物理师人工干预,脚本只起到协助作用,因此可以称之为基于Python脚本的RayStation系统的半自动计划工具。

## 1 方法

RayStation 4.5.1系统运行在Windows操作系统中,其Scripting功能选项卡中提供了对IronPython脚本的支持,并不需要购买额外的许可<sup>[5]</sup>。假定读者对RayStation系统和Python程序语言有一些了解,下面以胸部放疗计划的制定为例<sup>[6]</sup>,比较详细地讲述一下创建自动计划工具的方法。

### 1.1 脚本的创建和运行

推荐以录制的方式来进行脚本创建,使用左侧Scripting选项卡下方的Script Creation功能(图1)。点击录制按钮,返回计划系统后的一系列操作将以脚本命令的形式被记录,点击Script Creation下方的停止按钮后,在脚本创建窗口中会出现刚才记录的脚本内容,其中无法录制的操作会以注释的形式进行提示。

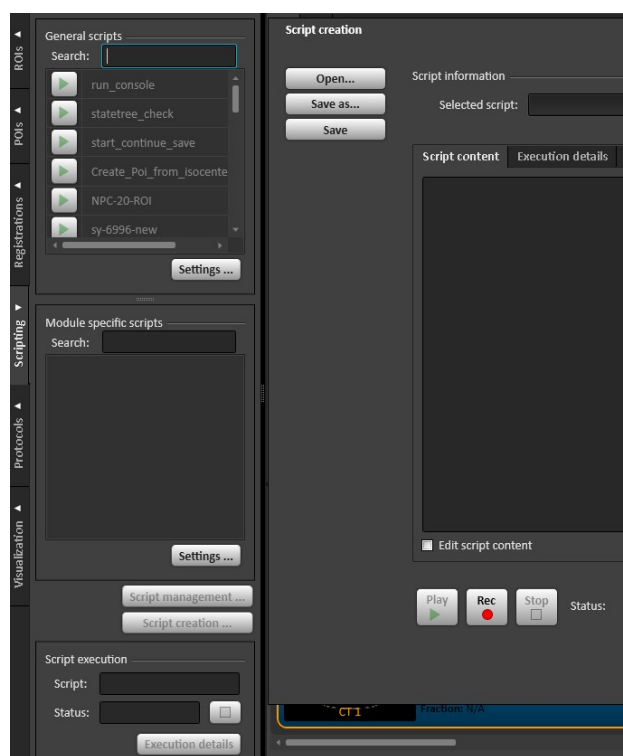


图1 RayStation系统中的脚本创建界面

Fig.1 Script creation interface in RayStation treatment planning system

通过运行左侧脚本库中的Run Console(图2)和State Tree(图3),分别打开命令终端和状态树,这两者都是脚本编写过程中有用的工具。终端中的输入命令会立即执行,可用于调试脚本语句。在计划系统中当前打开的患者,在脚本平台中是以Python对象的形式存在的,包含各个子对象及其属性和方法,方便查阅和引用。脚本的开头通过“from connect import\*”与RayStation系统连接,通过get\_current()函数获得当前患者(patient)、放疗计划(plan)、影像CT(examination)和射线束(beamset)的句柄。参考状态树里的信息,可以对当前患者的各项内容进行修改(直接修改或调用状态树里提供的函数),其效果与通过键盘鼠标操作是相同的。

### 1.2 ROI轮廓的标准化

为了方便计划模版的调用和剂量统计,放疗计划组和临床医生一般会协调制定一个统一的靶区和

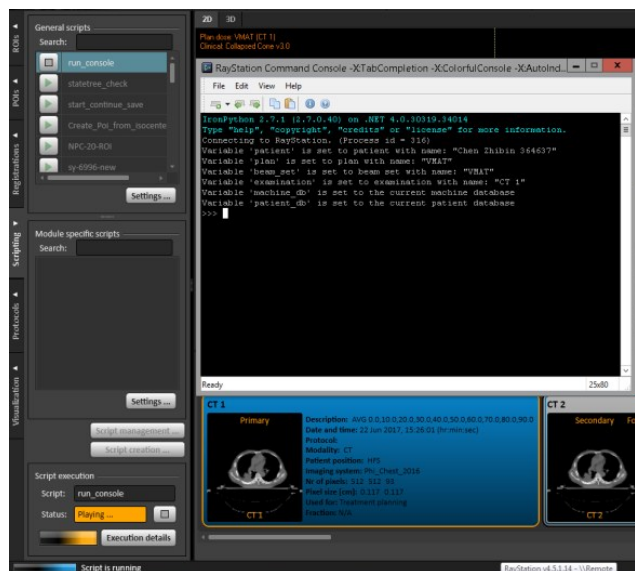


图2 RayStation系统中的脚本终端界面

Fig.2 Script terminal interface in RayStation treatment planning system

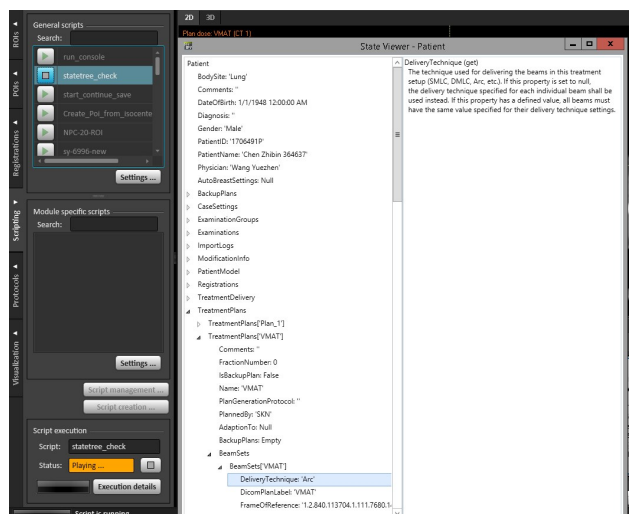


图3 RayStation系统中的状态树界面

Fig.3 State tree in RayStation treatment planning system

正常器官轮廓(ROI)的名称和颜色标准。但临床医师在勾画ROI的时候,往往习惯用自己的颜色和命名方式,没有时间按照标准进行修改。这里可以通过脚本进行统一的修改。当前图像上的RT Structure对象集的句柄可通过“ss=patient.PatientModel.StructureSets[examination.Name]”来获得,使用“for roi in ss.RoiGeometries”对各个ROI对象进行遍历,判断它们是哪个结构,并修改为标准的名字和颜色等。例如对左侧肺的判断:“if 'left' and 'lung' in r.OfRoi.Name.lower() or 'l-lung' in r.OfRoi.Name.lower() or 'lung-l' in r.OfRoi.Name.lower(): r.OfRoi.Name='L-Lung'”。判断的时候要尽可能多包含一些常见的写法。

### 1.3 辅助轮廓的创建

可以直接采用录制的方式创建辅助轮廓。

### 1.4 计划创建和修改

采取录制的方式生成计划,并做一些修改。但需要注意以下几点:(1)在创建计划前需要使用“patient.Save()”保存,否则前面的一些辅助结构可能会丢失;(2)等中心照射的照射野需要有一个中心点,该点一般应该在靶区中心附近,以获得精确的剂量计算结果。按照笔者单位的约定,CT模拟定位机传递过来的定位中心点命名为“mark”,计划系统中的类型设置为“Localization Point”,如果该定位点偏离靶区较远,则在靶区中心附近新建名为“iso”的点,类型为“isocenter”;患者进行放疗前需要先在模拟机进行复位,照射野中心不在定位中心的患者需要进行移位并在体罩上重新贴标记,考虑到CT模拟机的精度,一般要求患者的移位距离是0.5 cm的整数倍。具体到脚本上,可以使用roi对象的GetCenterOfRoi()函数获得计划靶区中心的坐标,并与“mark”点坐标进行比较,判断是否需要创建“iso”点。计划创建完毕,需添加照射野时,如果有名称为“iso”的点则使用该点坐标作为照射中心,否则使用“mark”点坐标。照射野角度可以预先保存在一个列表(list)中,使用循环方式添加。注意使用“plan=patient.AddNewPlan()”保留计划返回的引用,后续可以使用“plan”变量直接引用该治疗计划。计划创建完成后注意保存。

### 1.5 临床目标和优化条件的添加

先使用录制的方式创建临床目标和优化条件,再进行修改。事实上,临床目标和优化条件都可以预先保存在列表中,使用循环的方式调用“plan.TreatmentCourse.EvaluationSetup.AddClinicalGoal()”和“plan.PlanOptimizations[0].AddOptimizationFunction()”函数添加。在添加每一个条目前最好先确定一下相应的ROI是否存在,否则系统会报错,可以维护一个当前患者的ROI列表以便进行查阅。另外,可以直接修改“PlanOptimizations[0]”的属性设置治疗计划的参数,例如迭代步数、是否计算中间剂量和最终剂量等,并通过“DeliveryTechnique”判断该计划是静态调强还是旋转调强,分别设置相应的计划参数。静态调强需要设置最小子野面积和最小机器跳数,旋转调强可以设置控制点精度和是否使用对偶双弧。

### 1.6 计划初步优化

RayStation计划系统使用的是DMPO优化算法,使用“PlanOptimizations[0].RunOptimization()”可使计划按照预先设置的优化条件和参数进行迭代优化。每个优化条件对应一个函数值,指示了该目标函数及其权



重与目前迭代剂量水平的差距,该值过高说明对应的优化条件设置过于严格,求解过程有可能难以收敛;过低则说明优化条件太宽松,在迭代优化过程中没有起到作用,根据经验每个优化条件的函数值在0.01~0.60之间比较合理。完成预先设定步数的计划迭代求解后,系统会给出一个剂量分布作为当前解。通常我们需要将该剂量分布归一到处方剂量水平,即首先使放疗靶区的剂量水平达到临床要求,然后再评估OAR的剂量水平。使用“beam\_set.NormalizeToPrescription()”函数并在调用时设置参数“EvaluateAfterScaling=True”,可以将当前解归一至所需的(处方)剂量水平,并计算各目标函数的函数值。同时,使用“plan.TreatmentCourse.TotalDose.GetDoseStatistic()”和“GetRelative Volume AtDose Values()”等函数可获得当前特定的剂量指标水平。如果某一优化条件使用的是EUD函数,其属性“FunctionValue.PlanningValue”中可以直接取到当前剂量水平对应的EUD值。使用DMPO算法制定逆向IMRT计划时,通常需结合当前解的剂量水平和优化函数的函数值,对优化函数进行更新,并选择基于当前解继续迭代或重置到初始状态再进行计算。使用脚本可以在一定程度上模拟这一过程,实现逆向IMRT计划的反复迭代求解和优化目标函数的自动更新。

## 2 结果

通过上节的方法,使用Python脚本可以实现RayStation系统逆向IMRT计划各步骤的自动化处理。将各个步骤串联起来,可以编写出针对不同病种的自动计划生成工具。例如,针对胸部左右两侧乳腺肿瘤及肺部和食管肿瘤,可以制作一个简单的小工具,如图4所示。物理师在制定计划时,只需输入剂量及放疗次数,即可自动按照每个人(“planned by”)预先设定的模版生成待迭代优化的放疗计划。通常在计划优化前需要检查一下各项设置是否正常,对于特殊位置的靶区要按照需要手动修改照射野方向。随后可利用脚本进行迭代求解和优化条件更新,并手动检查迭代结果以获得适合该患者的优化条件,从而获得满足该放疗患者临床目标要求的治疗计划。图4使用的是IronPython的WinForm图形界面,可以与脚本内容一起做成单文件,方便放置在RayStation系统左侧的脚本库中反复调用。另外,针对一些小功能例如照射野排序和重新命名、照射中心点的自动生成等常用脚本也可以放置在脚本库中反复使用。

## 3 讨论

2000年以后国内开展IMRT的很多单位使用的

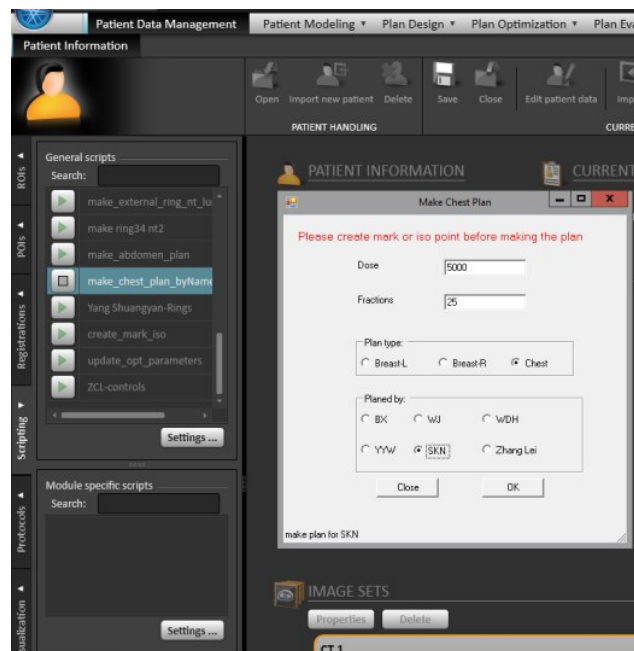


图4 使用脚本自动创建胸部放疗计划的界面  
Fig.4 Applet using script for automatically creating chest radiotherapy plan

都是Pinnacle系统,其中有不少关于使用脚本提高工作效率的研究<sup>[7]</sup>。有研究工作还使用C++语言和Pinnacle脚本混合编程的方法实现了Pinnacle系统下基于数据驱动的鼻咽癌放疗计划自动化设计<sup>[8-9]</sup>。事实上,Pinnacle系统的脚本功能已经可以实现放疗计划的自动化处理,但是其门槛较高,不易掌握。相比之下,RayStation在Windows操作系统下,集成了简洁明确又使用广泛的Python语言,接受程度高<sup>[10-12]</sup>。

以治疗计划的全过程为例,物理师在TPS中检查和添加检查患者的名称、年龄、主治医师、肿瘤部位等关键信息后,首先检查肿瘤靶区和OAR的勾画是否正确,并根据肿瘤位置确定照射野中心点(使用CT模拟定位点或进行移位),然后运行脚本,设置处方和治疗次数后自动完成计划优化前的工作,最后调整照射野或治疗弧角度并检查优化设置,运行优化并按照需要自动修改优化参数。由此看来,使用脚本辅助进行半自动计划设计可以将繁琐的重复性工作交给计算机完成,物理师可以空出时间,集中精力处理患者计划的个性化临床要求部分的优化,对于提高放疗计划的整体水平也是有益的。另外,当TPS中的病例累积到数万例以后,或者有几个医生和物理师工作站同时接入数据库,每个终端又打开若干例患者后,系统的反映就会比较慢,而且容易崩溃,此时未保存的内容就会丢失,通过脚本半自动处理的形式,可以减少键盘和鼠标操作,在提高工作效率的同时又能自动保存。

近年来,基于经验模型和机器学习算法的放疗计划自动化设计获得了比较大的成功<sup>[13-17]</sup>。该功能被 Varian Eclipse 系统集成并命名为 RapidPlan<sup>[18]</sup>,通过训练 DVH 模型并将其应用在新患者的放疗计划设计中,获得的计划基本上可以满足临床要求<sup>[19-20]</sup>。本文只是探讨了使用 Python 脚本进行半自动计划的设计方法,完全自动的放疗计划设计还需要进一步的工作。从目前临床工作的角度,放疗计划的优化和最终批准还不能完全脱离物理师的人工干预,因此利用脚本的半自动计划在近期还会是临床工作中的主要方式。治疗计划的自动设计应该是未来的发展趋势,作为物理师应该熟悉这些自动工具的应用,从效率和质量这两个方面提高放疗计划工作的整体水平。

## 【参考文献】

- [1] 杨瑞杰,戴建荣,胡逸民. 调强放射治疗的计划优化[J]. 中国医疗器械信息, 2005, 11(2): 13-16.  
YANG R J, DAI J R, HU Y M. Optimization of intensity-modulated radiation therapy[J]. China Medical Device Information, 2005, 11(2): 13-16.
- [2] HÅRDEMARK B, LIANDER A, REHBINDER H, et al. P3 IMRT: direct machine parameter optimization[J]. Pinnacle White Paper (4535): 983.
- [3] GEOGHEGAN S. Scripting on the Pinnacle 3 treatment planning system 2007[EB/OL]. www.medphysfiles.com.
- [4] Eclipse Scripting API. Reference guide[R]. Palo Alto USA: Varian Medical Systems, 2013.
- [5] RaySearch Laboratories AB. RayStation 4.5 scripting guideline[M]. Sweden: RaySearch Laboratories, 2014.
- [6] 邵凯南,杜锋磊,李剑龙. RayArc 在胸部旋转调强放射治疗计划设计中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(2): 131-138.  
SHAO K N, DU F L, LI J L. Application of RayArc in volumetric modulated arc therapy planning of chest cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(2): 131-138.
- [7] 陈维军,狄小云,王彬冰,等. Pinnacle 计划系统脚本在调强放疗计划中的应用研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2010, 27(3): 1858-1861.  
CHEN W J, DI X Y, WANG B B, et al. Application of scripting in pinnacle TPS for IMRT planning[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2010, 27(3): 1858-1861.
- [8] 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]. Chinese Journal of Medical Device, 2013, 26(2): 6-9.
- [9] 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.
- [10] 张建英,孙菁,王芸. RayStation 治疗计划系统脚本的初步应用[J]. 中国医疗器械杂志, 2013, 37(4): 297-300.  
ZHANG J Y, SUN J, WANG Y. Preliminary application of scripting in RayStation TPS system[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2013, 37(4): 297-300.
- [11] 张建英,孙菁,王芸. RayStation 治疗计划系统脚本的进阶应用[J]. 中国医疗器械杂志, 2014, 38(6): 463-465.  
ZHANG J Y, SUN J, WANG Y. Discussion to the advanced application of scripting in raystation TPS system[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2014, 38(6): 463-465.
- [12] 李宁山,陈亚正,廖雄飞. RayStation 计划系统基于脚本导出剂量学指标的方法[J]. 中国医学物理学杂志, 2016, 33(4): 385-388.  
LI N S, CHEN Y Z, LIAO X F. Exporting dose statistical indicators by using scripting in RayStation planning system[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2016, 33(4): 385-388.
- [13] GOOD D, LO J, LEE W R, 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.
- [14] ZHU X, GE Y, LI T, et al. A planning quality evaluation tool for prostate adaptive IMRT based on machine learning[J]. Med Phys, 2011, 38(2): 719-726.
- [15] MOORE K L, BRAME R S, LOW D A, et al. Experience-based quality control of clinical intensity-modulated radiotherapy planning[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 81(2): 545-551.
- [16] MUNTER J S, SJÖLUND J. Dose-volume histogram prediction using density estimation[J]. Phys Med Biol, 2015, 60(17): 6923.
- [17] 范嘉伟,王佳舟,胡伟刚. 基于核密度估计的自动计划研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(6): 661-666.  
FAN J W, WANG J Z, HU W G. A study of automatic treatment planning based on kernel density estimation[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(6): 661-666.
- [18] Dvh estimation models for rapid plan, Eclipse photon and electron instructions for use[M]. Palo Alto, CA: Varian Medical Systems, 2014.
- [19] 蒋璠,张艺宝,岳海振,等. 基于经验的放疗计划模型训练及其初步应用[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(11): 1223-1227.  
JIANG F, ZHANG Y B, YUE H Z, et al. The model training of knowledge-based radiotherapy treatment planning and its preliminary application[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(11): 1223-1227.
- [20] 任江平,周瑛琪,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.  
REN J P, ZHOU Y Y, DAI X H, et al. Feasibility of automatic plan using RapidPlan model in intensity-modulated radiotherapy plan for nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(8): 783-789.

(编辑:谭斯允)