

# 基于动态脚本语言的食管癌 IMRT 计划设计

刘 磊, 吴爱东, 闫 冰, 张红雁

**摘要** 目的 利用 Solaris 10 操作系统中自带的 Perl 程序创建具有自适应性质的动态脚本, 实现调强放射治疗 (IMRT) 计划设计的自动执行, 并研究其在计划设计中的应用前景。方法 选取 6 例食管癌患者, 利用 Perl 程序创建动态脚本, 通过脚本回放, 实现 IMRT 放疗计划的设计, 并利用体积剂量、计划完成时间等参数与人工设计的计划进行对比。结果 在不明显改变计划质量的前提下, 脚本计划时间 ( $12.70 \pm 1.47$ ) min 相比人工计划时间 ( $27.72 \pm 2.29$ ) min 平均缩短 15 min, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。结论 利用 Perl 程序创建动态脚本能够自适应靶区与剂量, 通过脚本回放可快速完成 IMRT 计划的设计。

**关键词** Perl; IMRT; 脚本; 食管癌

**中图分类号** R 811.1

**文献标志码** A **文章编号** 1000-1492(2015)02-0209-05

调强放射治疗 (intensity modulated radiation therapy, IMRT) 是一种先进的放疗方法, 能够在提高靶区剂量的同时保护正常组织。设计 IMRT 计划是目前物理师的主要工作之一, 并极大的占用了物理

师的工作时间。为了避免重复劳动、提高工作效率, 国内外很多学者利用 Pinnacle 治疗计划系统内具有脚本功能开发出各种脚本, 通过脚本的回放, 自动完成各项计划参数的设置。但是, 目前的脚本在设计过程中只能针对固定的靶区名称及常规的剂量进行, 如果计划中靶区名称或处方剂量改变, 则固定 IMRT 计划模板就不再适用。该研究基于 Pinnacle 计划系统的 IMRT 逆向优化模块, 结合 Perl 程序与 Pinnacle 脚本程序, 以食管癌为例, 编程实现基于动态模板的 IMRT 计划设计。自编程序能够根据靶区名称及靶区剂量自动生成出适应当前计划的动态模板, 通过模板回放可快速完成计划的设计。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 本研究使用 Pinnacle 9.6 计划系统以及 Solaris10 中自带的 Perl 程序。Pinnacle 9.6 计划系统可以实现脚本的记录与回放功能, 即可记录在计划设计过程中执行的一系列序贯操作, 在以后相同病种的计划设计时, 只需要回放已记录的脚本就可以执行相同步骤的操作<sup>[1]</sup>。

**1.2 病例资料** 选取 2014 年 1~3 月安徽省立医院放疗科中上段食管癌住院患者 6 例, 病理检查证实为鳞癌, 无放疗禁忌证, 年龄 47~81 岁, 中位年龄 64 岁。所有患者仰卧位, 采用放疗体架加真空袋固

2014-09-30 接收

基金项目: 安徽省高校省级自然科学基金项目 (编号: KJ2010B380)

作者单位: 安徽医科大学附属省立医院放疗科, 合肥 230001

作者简介: 刘 磊, 男, 硕士研究生;

吴爱东, 男, 副教授, 硕士生导师, 责任作者, E-mail: aid-ongwu@21cn.com

and chemotherapy-induced cognitive impairment (CICI) of patients with breast cancer. **Methods** Take 60 breast cancer patients who had received adjuvant chemotherapy after operation as breast cancer group, in which group A included 30 patients with ER and PR double negative, group B included 30 patients with ER and PR double positive. In addition, we also selected 60 cases of healthy women volunteers with age and education level matched as control group. All participants were administered with mini mental state examination (MMSE) and auditory verbal learning test (AVLT) tasks. **Results** Differences of MMSE score between breast cancer group and control group were statistically significant ( $t = -12.824, P < 0.05$ ); differences between group A and group B in MMSE score, immediate memory and delay memory score were statistically significant ( $t = -3.311, -3.616, -2.264, P < 0.05$ ). **Conclusion** Patients with breast cancer after chemotherapy exist in different extent of cognitive impairment, and the general cognitive function and memory damage of patients with ER and PR double negative are obvious while comparing to patients with ER and PR double positive ( $P < 0.05$ ), implying that different ER and PR expression may be related to the heterogeneity of CICI in breast cancer.

**Key words** estrogen receptor; progesterone receptor; breast cancer; chemotherapy-induced cognitive impairment; memory

定,做上体表标记并行螺旋 CT 扫描,扫描范围从环状软骨至肋膈角下缘,扫描层厚为 2.5 mm,患者的 CT 图像经网络传输到 Pinnacle 治疗计划系统。

### 1.3 靶区和危及器官(organ at risk ,OAR)的勾画

由放疗医师在 CT 图像上逐层勾画淋巴结大体肿瘤靶体积 (gross tumor volume of lymph nodes ,GTVnd)、淋巴结计划靶体积 (planning gross tumor volume of lymph nodes ,PGTVnd)、临床靶体积 (clinical tumor volume ,CTV)、计划靶体积 (planning tumor volume ,PTV) 和 OAR。靶区勾画基本标准: PGTVnd 是在 GTVnd 基础上外扩 0.5 cm 形成; CTV 勾画上界为环甲膜水平,下界为原发肿瘤下 3 cm,包括锁骨上淋巴结引流区及 2、4、5、7 区; PTV 是在 CTV 基础上外扩 0.5 cm 形成; 食管癌 OAR 主要是脊髓、肺和心脏。

1.4 基于动态模板的计划系统设计方法 相对于固定模板的计划设计,动态模板能够根据靶区名称及处方剂量自动产生适应该计划的动态脚本,并通过脚本回放完成计划设计,系统框图如图 1 所示。

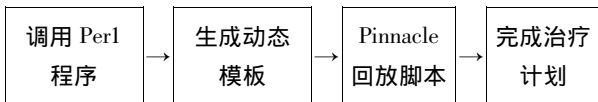


图 1 利用动态脚本设计治疗计划流程图

Perl 程序产生动态模板的流程如下,第一步:通过在 Solaris 10 中调用 Perl 程序编译程序,程序提示物理师输入所要处理的靶区名称 (PGTVnd、PTV)、所在解剖位置 (头颈部、胸部、腹部)、剂量、分次数和照射野数目。第二步:① 为避免因建成效应造成靶区剂量不足影响计划评价,根据靶区名称 (PGTVnd、PTV) 将靶区收至皮肤下 0.5 cm,生成对应的计划靶区 (PGTVnd\_plan、PTV\_plan)。② 为了约束剂量更加适形靶区,动态模板程序会根据靶区产生从靶区到正常组织之间的,剂量从高到低过渡的环状 (ring) 剂量约束区 (PGTVnd\_ring、PTV\_ring1 和 PTV\_ring2)。③ 对于 2 个或 2 个以上的靶区,为了避免在计划设计过程中出现靶区剂量不足,重叠的部分的处理采取处方剂量低的靶区让位于高的靶区,产生 (PTV-PGTVnd)。④ 根据程序开始时读入的靶区数量添加照射野,具体到食管癌中,统一采用 6 个照射野 (210°、310°、0°、50°、120°、150°)。⑤ 根据计划的要求设置处方以及剂量线显示。⑥ 设置

IMRT 的射野优化参数,选择优化方式为直接子野优化 (direct machine parameter optimization ,DMPO),并设定最大子野个数 50,最小子野面积 5 cm<sup>2</sup> 以及最小剂量 5 MU; ⑦ 逐一添加 IMRT 优化的目标函数。

Perl 程序生成动态模板以后,由物理师回放整个动态脚本,完成计划设计。程序运行实例如图 2 所示。

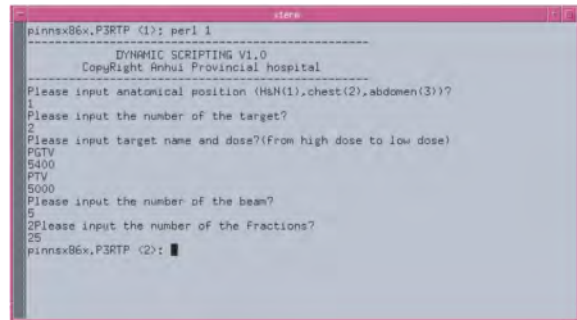


图 2 动态模板运行实例

1.5 计划评估 在上述所有病例中,为减少不同物理师因经验高低不同所导致的时间差异,同一病例由同一物理师采用动态脚本语言和人工方法分别进行计划设计。通过靶区剂量体积参数、靶区剂量均匀性指数、靶区剂量适形度指数、OAR 受量和完成治疗计划时间等参数进行计划的对比,证明动态模板创建的食管癌治疗计划的有效性及其快速性。

1.5.1 靶区剂量体积参数: 靶区的最大剂量  $D_{max}$ 、最小剂量  $D_{min}$ 、平均剂量  $D_{mean}$ 。

1.5.2 靶区剂量均匀性指数 (homogeneity index , HI)

$$HI = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}}$$

HI 的值大于 1,HI 值越低 (即越接近 1),表示靶区剂量均匀性越好;反之,HI 值越大表明剂量不均匀性较大。

1.5.3 靶区剂量适形度指数 (conformity index ,CI)

$$CI = \frac{T_{Tref}}{V_T} \times \frac{V_{Tref}}{V_{ref}}$$

其中  $V_{Tref}$  为参考等剂量线所覆盖的所有 PTV 体积,  $V_T$  为 PTV 体积,  $V_{ref}$  为参考等剂量线所包围的所有体积。CI 值为 0 ~ 1,CI 值越大,表示适形度越好,等于 1 时最理想。

1.5.4 OAR 受量 在食管癌计划中,主要评估的

OAR 为心脏、全肺、脊髓。约束剂量分别为心脏  $V_{30} < 40\%$ ,  $V_{40} < 30\%$ ; 全肺  $V_{20} < 25\%$ ;  $V_5 < 60\%$ ; 脊髓最大剂量  $D_{\max} < 45\text{Gy}$ 。

**1.5.5 计划完成时间 T** 计划完成时间 T 指物理师从计划设计开始至计划完成所需要的时间。T 值越小, 表示计划设计时间短, 效率高; T 值越大, 表示计划设计时间长, 效率低。

**1.6 统计学处理** 采用 SPSS 17.0 统计软件进行分析, 数据以  $\bar{x} \pm s$  表示。对动态脚本语言和人工设计方法中的不同组数据间进行配对设计  $t$  检验。

## 2 结果

程序运行比较顺利。通过 Perl 程序创建的动态模板设计完成的 IMRT 计划均满足临床要求。

**2.1 部分 Perl 程序代码** 本研究编写的部分 Perl 程序代码如下:

```
#####设置 CT 值电子密度表及设置等中心点#####
```

```
print LOG "TrialList . Current . PatientRepresentation . CtToDensityName = "BJ_CT_chest";\n";
print LOG " ColorList . NextCurrent = PoiList . Last . Color;\n";
print LOG " CreateNewPOI = "Add Point";\n";
print LOG " PoiList . Last . Color = ColorList . Current . Name;\n";
print LOG " PoiList . Current . Name = "iso";\n";
print LOG " WindowList . PoiAutoplace . Create = "Autoplace POI . . . "; \n";
print LOG " RoiList . Current = " $ target_name [ $ target_Nu - 1 ] \n";
print LOG " AutoplaceCurrentPoi = "Automatically Place Point"; \n";
print LOG " WindowList . PoiAutoplace . Unrealize = "Dismiss"; \n";
print LOG " WindowList . RoiExpandWindow . Create = "ROI Expansion/Contraction . . . "; \n";
$i = 0;
#####生成计划靶区#####
#####
while ( $i < $ target_Nu) {
print LOG " RoiList . # " * " . ResetRoiExpandState = "Clear All"; \n";
```

```
print LOG " RoiExpandControl . TargetRoiName = " $ target_name [ $ i ] _plan \n";
print LOG " RoiExpandControl . CreateNewTarget = "1"; \n";
print LOG " RoiExpandControl . ConstantPadding = "0"; \n";
print LOG " RoiExpandControl . UseConstantPadding = "1"; \n";
print LOG " IF . RoiList . # " $ target_name [ $ i ] " . RoiExpandState . Is . Source . THEN . RoiList . # " $ target_name [ $ i ] " . ResetRoiExpandState . ELSE . RoiList . # " $ target_name [ $ i ] " . RoiExpandState = "Source"; \n";
print LOG " RoiExpandControl . CheckTargetRoi = RoiList . # " $ target_name [ $ i ] " . Address; \n";
print LOG " IF . RoiList . # "OUTLINE - 0.5 " . RoiExpandState . Is . # "Avoid Exterior" . THEN . RoiList . # "OUTLINE - 0.5 " . ResetRoiExpandState . ELSE . RoiList . # "OUTLINE - 0.5 " . RoiExpandState = "Avoid Exterior"; \n";
print LOG " RoiExpandControl . CheckTargetRoi = RoiList . # "OUTLINE - 0.5 " . Address; \n";
print LOG " RoiExpandControl . Expand = "1"; \n";
print LOG " RoiExpandControl . DoExpand = "Expand"; \n";
print LOG " \n";
$i ++;
}
#####生成 ring#####
#####
.....
while ( $i < $ target_Nu) {
print LOG " RoiList . # " * " . ResetRoiExpandState = "Clear All"; \n";
print LOG " RoiExpandControl . CreateNewTarget = "1"; \n";
print LOG " RoiExpandControl . TargetRoiName " $ target_name [ $ i ] - $ target_name [ $ i - 1 ] \n"; \n";
print LOG " IF . RoiList . # " $ target_name [ $ i ] _plan " . RoiExpandState . Is . Source . THEN . RoiList . # " $ target_name [ $ i ] _plan " . ResetRoiExpand-
```

```

State . ELSE . RoiList . # " $ target_name [ $ i ] _plan "
. RoiExpandState = "Source" \; \n";
    print LOG " RoiExpandControl . CheckTargetRoi
= RoiList . # " $ target_name [ $ i ] _plan ". Address \;
\n";
    $ j = $ i;
    while ( $ j > 0) {
        print LOG " IF . RoiList . # " 0.3 $ target_name
[ $ j - 1 ] " . RoiExpandState . Is . # " Avoid Interior " .
THEN . RoiList . # " 0.3 $ target_name [ $ j - 1 ] " .
ResetRoiExpandState . ELSE . RoiList . # " 0.3 $ target
_name [ $ j - 1 ] " . RoiExpandState = " Avoid Interi-
or" \; \n";
        print LOG " RoiExpandControl . CheckTargetRoi
= RoiList . # " 0.3 $ target_name [ $ j - 1 ] _plan ". Ad-
dress \; \n";
        $ j - - ; }
    print LOG " RoiExpandControl . ConstantPadding
= " 0 " \; \n";
    print LOG " RoiExpandControl . Expand = " 1 "
\; \n";
    print LOG " RoiExpandControl . DoExpand = "
Expand" \; \n";
    $ i + + ; }
.....

```

**2.2 动态模板计划结果** 脚本计划与人工计划在靶区剂量体积参数、靶区 HI、靶区 CI 和 OAR 受量方面差异均无统计学意义;而在计划完成时间上,脚本计划时间(12.70 ± 1.47) min 相比人工计划时间(27.72 ± 2.29) min 平均缩短 15 min,差异有统计学意义(P < 0.05)。表明脚本计划在不明显改变计划质量的前提下,能够大幅度节省计划设计时间。见表 1、2。

表 1 人工计划与脚本计划靶区剂量比较(  $\bar{x} \pm s$  )

项目	参数	人工计划	脚本计划	t 值	P 值
PGTVnd	$D_{max}$ ( Gy )	65.38 ± 0.83	65.53 ± 0.92	-1.18	0.29
	$D_{min}$ ( Gy )	55.16 ± 2.80	55.55 ± 2.80	-0.96	0.38
	$D_{mean}$ ( Gy )	62.83 ± 0.21	62.81 ± 0.26	0.60	0.57
	CI	0.68 ± 0.17	0.68 ± 0.17	-0.19	0.86
	HI	0.086 ± 0.012	0.087 ± 0.012	-0.62	0.57
PTV	$D_{max}$ ( Gy )	65.38 ± 0.83	65.53 ± 0.92	-1.18	0.29
	$D_{min}$ ( Gy )	36.48 ± 5.42	35.30 ± 4.92	1.18	0.28
	$D_{mean}$ ( Gy )	54.90 ± 0.93	54.89 ± 1.03	-0.80	0.46
	CI	0.79 ± 0.19	0.80 ± 0.02	-1.20	0.28
	HI	0.240 ± 0.022	0.240 ± 0.021	0.61	0.58

表 2 人工计划与脚本计划 OAR 比较(  $\bar{x} \pm s$  )

项目	人工计划	脚本计划	t 值	P 值
脊髓 $D_{max}$ ( Gy )	43.00 ± 1.57	42.96 ± 1.41	0.25	0.81
肺 $V_{20}$ ( % )	20.20 ± 1.67	20.28 ± 1.21	-0.40	0.71
肺 $V_5$ ( % )	51.32 ± 5.62	51.43 ± 5.78	0.59	0.58
心脏 $V_{30}$ ( % )	18.30 ± 14.66	18.21 ± 14.73	0.71	0.51
心脏 $V_{40}$ ( % )	10.63 ± 8.87	10.60 ± 8.76	0.31	0.77

### 3 讨论

目前 Pinnacle 的脚本功能已在国内外很多医院得到广泛应用,美国 Royal Perth<sup>[2]</sup> 医院还将研究结果汇集成集。单一利用脚本功能产生的固定模板已经在鼻咽癌、乳腺癌等得到了应用,陈维军等<sup>[3]</sup> 利用脚本功能完成了乳腺癌的计划设计,柏朋刚<sup>[4]</sup> 也利用脚本功能完成了鼻咽癌的计划设计,通过脚本产生自动三维靶区命名系统<sup>[5]</sup>,但由于单纯利用脚本功能单一,因此 Pinnacle 脚本和第三方嵌入式编程是目前国内外研究的热点。利用 Perl 产生动态脚本用于治疗计划的自动确认,利用 Perl 产生动态脚本创建 IMRT 的 QA 计划,利用动态脚本自动引导容积弧形调强放疗计划的设计过程,这些临床应用都证明了动态脚本的有效性和快速性<sup>[6-8]</sup>。

**3.1 初始化参数设置** 通过对比发现各个固定模板之间的差异主要集中在靶区和 OAR 命名、靶区剂量和分次、照射野数量等方面,因此上述参数要求物理师手工输入。考虑到头颈、胸和腹部的 OAR 相对固定,因此本文处理方法是物理师输入肿瘤所在解剖部位(头颈、胸、腹),程序自动添加该部位的所有器官名称以及限量目标函数。

**3.2 照射野角度设置** 由于靶区与正常组织相对位置不同,因此并没有固定的最优照射野角度。王彬冰等<sup>[9]</sup> 利用遗传算法优化三维适形放疗计划的入射野角度,为照射野角度的自动选择提供了理论依据。在本文处理中并不涉及照射野角度的优化,物理师仅根据输入的照射野数量,在 360° 的范围内均分整个照射野,最后根据经验再调整照射野角度。

**3.3 多靶区处理方式** 对于含有多个靶区的计划,为避免靶区相互重叠使优化条件产生矛盾,需要将低剂量靶区让位与高剂量靶区。本文采取的思路是依照靶区剂量高低对靶区名称设定优先级,在依次存入靶区名称及剂量数组中。采用循环将靶区倒序相减,形成新靶区,命名为,并遍历整个数组。如下式所示:

$$ROI_n - ROI_{n-1} = ROI_n - \sum_{i=0}^{n-1} ROI_i$$

其中  $ROI_n$  表示靶区名称数组中第  $n$  位的靶区名称,  $\sum_{i=0}^{n-1} ROI_i$  表示依照靶区名称从第 0 位加至第  $n-1$  位。

对于每个靶区的 ring 剂量约束区, 本文采用的方法是将每个靶区分别外扩 (0.3 cm、1 cm、2 cm) 并分别存入 3 个靶区名称数组中, 即  $0.3ROI_n$ 、 $1ROI_n$ 、 $2ROI_n$ 。类似于靶区重叠处理方法, 将  $0.3ROI_n$ 、 $1ROI_n$ 、 $2ROI_n$  倒序相减, 命名为  $ROI_{n\_ring}$ 。如下式所示:

$$ROI_{n\_ring 1} = 1 ROI_n - \sum_{i=0}^{n-1} 0.3 ROI_i$$

$$ROI_{n\_ring 2} = 2 ROI_n - \sum_{i=0}^{n-1} 1 ROI_i$$

本文利用第三方编程软件 Perl 与脚本功能混合, 通过物理师输入相应参数, 由计算机生成适应于该 IMRT 计划的个性化脚本语句, 提高了脚本的适应性。从计划设计的本质上来说, 动态模版与人工或固定模版的计划优化初始条件相同且动态模板并没有涉及优化参数的更新, 因此两者之间的优化结果不应有显著差别, 但由于靶区处理、添加照射野及优化目标函数是利用脚本完成, 计划完成时间显著减少。

本文以食管癌计划为例阐述了动态模板的整个工作流程, 临床推广至其他病种证明同样是适用的, 仅仅是靶区名称、处方剂量及分次的不同, 这对于放

疗计划设计的智能化具有很重要的意义。然而这一程序目前并不能对照射野角度进行自动优化, 未来还需进一步深入研究。

## 参考文献

- [1] Pinnacle3 Planning reference guide [M]. 9201-5136A-ENG Rev A. Fitchburg USA. Philips Medical System. 2008.
- [2] S Geoghegan. Scripting on the Pinnacle3 Treatment Planning System [M]. Royal Perch Hospital, 2007.
- [3] 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.
- [4] 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): 1858-61.
- [5] Holdsworth C, Hummel-Kramer S M, Phillips M. Scripting in radiation therapy: an automatic 3D beam-naming system [J]. Med Dosim, 2011, 36(3): 272-5.
- [6] Yang D, Moore K L. Automated radiotherapy treatment plan integrity verification [J]. Med Phys, 2012, 39(3): 1542-51.
- [7] Yaddanapudi S, Yang D, Moore K, et al. SU-GG-T-202: Automation of patient specific IMRT QA plan generation [J]. Med Phys, 2010, 37(6): 3231.
- [8] Wu B, Pang D, 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.
- [9] 王彬冰, 狄小云, 陈维军, 等. 基于遗传算法的三维适形放射野入射角度最优化研究 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17(4): 304-7.

## IMRT design for esophageal carcinoma based on dynamic scripts

Liu Lei, Wu Aidong, Yan Bing, et al

(Dept of Radiotherapy and Oncology, The Affiliated Provincial Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230001)

**Abstract Objective** Underwent adaptive dynamic scripts based on the Perl program of Solaris 10 operating system and scripting playback of pinnacle system which automatically performed the plan of intensity modulated radiotherapy and analyzed the dose distribution produced by the dynamic scripts, and then explored them in the treatment plan of intensity modulated radiotherapy. **Methods** Six patients with esophageal carcinoma received radiotherapy were selected. Two IMRT plans for each patient were designed: the artificial plan and the plan based on the dynamic scripts through playback function. The dose volume histogram, plan completion time, and other parameters were compared respectively. **Results** The average time of IMRT plan (12.70 ± 1.47) minutes achieved by the application of dynamic scripts was 15 minutes shorter than that of the artificial plan (27.72 ± 2.29) minutes, and the difference was statistically significant ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** The dynamic scripts based on the Perl program can adapt the targets and dose, and can quickly fulfill the IMRT plan through playback function.

**Key words** Perl; IMRT; script; esophageal carcinoma