

## 定量评价 Atlas 模板库病例数目对宫颈癌危及器官自动勾画的影响

王金媛<sup>1</sup>, 徐寿平<sup>1,2</sup>, 刘博<sup>3</sup>, 郑庆增<sup>4</sup>, 张慧娟<sup>1</sup>, 杨微<sup>1</sup>, 曲宝林<sup>1,2</sup>

1. 中国人民解放军总医院放疗科, 北京 100853; 2. 北航大数据精准医疗高精尖创新中心, 北京 100083; 3. 北京航空航天大学图像处理中心, 北京 100191; 4. 北京老年医院放疗科, 北京 100095

**【摘要】目的:**探讨基于 Atlas 实施宫颈癌危及器官自动勾画时图谱库入库病例数的增加对自动勾画结果的影响,以期得到最优图谱库病例数。**方法:**运用 MIM 软件建立 4 组宫颈癌图谱库(入库病例数目分别为 30、60、90、120 例)。随机选择图谱库外 10 例宫颈癌患者图像,由一名临床经验丰富的医生进行危及器官(膀胱、直肠和双侧股骨头)的手动勾画,将其定义为参考勾画,并对该 10 例患者图像进行危及器官自动勾画,勾画匹配数目分别选择为 3 和 9。通过定量评价勾画时间、相似性系数(DSC)、敏感性指数(SI)、包容性指数、质心偏差、Jaccard 系数(JAC)、Hausdorff 距离(HD),将自动勾画结果与参考勾画进行单因素方差分析,从而探讨不同图谱库病例数对自动勾画结果的影响。**结果:**勾画匹配数目选择为 3 时,4 组模板中平均自动勾画时间小于手动勾画(1.31/1.33/1.35/1.39 min vs 10.25 min),匹配数目选 9 时具有同样的趋势(5.07/5.24/5.14/5.24 min vs 10.25 min),但各组间没有差异性。匹配数目为 3 时膀胱 SI( $P=0.018$ )、直肠 SI( $P=0.010$ )、直肠 DSC( $P=0.016$ )、直肠 JAC( $P=0.013$ )、直肠 HD( $P=0.042$ ),以及匹配数目为 9 时直肠 HD( $P=0.002$ )均具有统计学差异,其他参数没有统计学意义。**结论:**基于 Atlas 实施危及器官自动勾画能够节省勾画时间,模板数目的增加不会影响勾画效率,30 例图谱库勾画时整体结果较差,60 例以上的图谱库略有优势,提高膀胱、直肠的勾画准确性,但考虑时间成本,对于宫颈癌的勾画建议采用 60 例作为临床模板库病例数。

**【关键词】**Atlas; 宫颈癌; 基于图谱的自动勾画; 危及器官; 定量分析

**【中图分类号】**R730.55; R318

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2019)07-0760-05

## Quantitative evaluation of Atlas-based auto-segmentation of organs-at-risk in patients with cervical cancer using different Atlas database sizes

WANG Jinyuan<sup>1</sup>, XU Shouping<sup>1,2</sup>, LIU Bo<sup>3</sup>, ZHENG Qingzeng<sup>4</sup>, ZHANG Huijuan<sup>1</sup>, YANG Wei<sup>1</sup>, QU Baolin<sup>1,2</sup>

1. Department of Radiotherapy, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China; 2. Beihang Advanced Innovation Center for Big Data-based Precision Medicine, Beijing 100083, China; 3. Image Processing Center, Beihang University, Beijing 100191, China; 4. Department of Radiotherapy, Beijing Geriatric Hospital, Beijing 100095, China

**Abstract: Objective** To evaluate the effects of Atlas-based auto-segmentation (ABAS) with increasing Atlas database sizes on the automatic segmentation of organs-at-risk in patients with cervical cancer for obtaining the optimal Atlas size. **Methods** Four sets of cervical cancer Atlas databases, with 30, 60, 90 and 120 cases, respectively, were established with MIM software. The images of another 10 patients with cervical cancer were selected out of Atlas databases, and the organs-at-risk including bladder, rectum and bilateral femoral heads were segmented by an experienced radiation oncologist, and the obtained results were defined as reference volumes. Meanwhile, the 4 organs-at-risk of 10 patients were automatically segmented with ABAS, with the matching number of 3 and 9, respectively. The time for segmentation, Dice similarity coefficient, sensitivity index, inclusiveness index, deviation of centroid, Jaccard coefficient and Hausdorff distance were quantitatively evaluated, and a one-way analysis of variance was performed on the results obtained with ABAS and reference contours, thereby discussing the effect of Atlas database size on automatic segmentation. **Results** For the matching number of 3 and 9, the mean time of 4 sets of Atlas databases for automatic segmentation was shorter than that of manual segmentation (1.31/1.33/1.35/1.39 min vs 10.25 min; 5.07/5.24/5.14/5.24 min vs 10.25 min), but there was no significant difference among different groups. When the matching number was 3, statistical

**【收稿日期】**2019-03-16

**【基金项目】**国家重点研发计划(2017YFC0112100); 解放军总医院临床科研扶持基金(2017FC-TSYS-3005)

**【作者简介】**王金媛, 物理师, 主要从事放射剂量学和图像处理研究, E-mail: kyjinyuan@126.com

**【通信作者】**徐寿平, 高级工程师, 主要从事肿瘤精确放疗及自适应放疗研究, E-mail: shouping\_xu@yahoo.com

differences were found in the sensitivity index of bladder and rectum ( $P=0.018, 0.010$ ), the Dice similarity coefficient, Jaccard coefficient and Hausdorff distance of rectum ( $P=0.016, 0.013, 0.042$ ). When the matching number was 9, statistical difference was only found in the Hausdorff distance of rectum ( $P=0.002$ ). The differences in the other parameters were trivial. **Conclusion** ABAS can shorten the time for segmentation, and the increasing of Atlas database size doesn't affect the segmentation efficiency. The Atlas database with 30 cases has a poor performance in segmentation, while the Atlas database with 60 cases is advantageous in the accuracy of the segmentation of bladder and rectum. Considering the time cost, Atlas database with 60 cases is recommended for the clinical application.

**Keywords:** Atlas; cervical cancer; Atlas-based auto-segmentation; organs-at-risk; quantitative analysis

## 前言

放射治疗是恶性肿瘤的主要治疗手段之一,约50%~70%的肿瘤患者需要在治疗过程中实施放射治疗<sup>[1]</sup>。新技术的发展对放射治疗过程中每个环节的精确度要求严苛,为确保精确治疗,3D图像上精确的轮廓勾画是一个重要环节。放射治疗开始之前,肿瘤及其相关的所有危及器官都要被勾画出来,以便在实施剂量计算后对靶区和各危及器官进行定量的评估。常规的医生手动勾画存在诸多弊端:过程繁琐,耗费大量的时间和人力,从而导致器官勾画效率较为低下;轮廓的勾画存在人为误差,带有一定的主观性,准确性、重复性差。自动勾画软件的出现能够在一定程度上改善这种差异。目前市场上已出现多种可以实现自动勾画功能的商用软件,其中大部分软件是基于图谱的自动勾画(Atlas-Based Auto-Segmentation, ABAS),即将已有CT图像上的轮廓形变配准到新CT图像上。虽然自动勾画完成后的结果仍需要部分的修改才能满足临床要求,但与手动勾画相比仍能够大大减少临床人员勾画的时间和工作负荷<sup>[2]</sup>。

本研究基于图谱实施宫颈癌危及器官自动勾画,探讨和评价图谱库入库病例数对自动勾画结果的影响,以期探索影响自动勾画优劣的可能因素,得出临床上可实施的解决方案,从而为自动轮廓勾画更好运用于临床提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验方法

选取2014年7月~2017年4月解放军总医院收治的130例宫颈癌患者,其中120例为建库图像,10例为目标图像。患者均采用体膜固定,仰卧位行定位扫描,定位前0.5 h饮用500 mL水并进行憋尿。采用Siemens大孔径CT(Siemens SOMATOM 64排)实施CT扫描,层厚为3 mm,将所得图像通过DICOM传输至Eclipse计划系统(Ver10.0)。由一名经验丰富的临床医生在CT图像上手动勾画出危及器官,目标勾画

包括膀胱、直肠和双侧股骨头,对目标图像勾画进行计时并定义为参考勾画( $V_{ref}$ )。

应用MIM Maestro软件(Ver 6.6.5)采用留一法(Leave-one-out)建立4套病例数不同的宫颈癌图谱库(30、60、90、120例),分别应用4个图谱库、不同的勾画匹配数目(3和9)对10例目标图像进行危及器官的自动勾画并分别计时,将勾画匹配数目选择为3时,30、60、90、120例图谱库的自动勾画(Automatic Contouring, AC)结果定义为 $V_{AC-30-3}$ 、 $V_{AC-60-3}$ 、 $V_{AC-90-3}$ 、 $V_{AC-120-3}$ ;将勾画匹配数目选择为9时,自动勾画结果分别定义为 $V_{AC-30-9}$ 、 $V_{AC-60-9}$ 、 $V_{AC-90-9}$ 、 $V_{AC-120-9}$ 。运用评价参数,将各组自动勾画的结果与 $V_{ref}$ 进行比较,得出模板数目对自动勾画结果的影响。

### 1.2 评价参数

勾画时间:包括自动勾画和手动勾画的时间。手动勾画时间为从打开CT图像到最后一个危及器官勾画完成的时间。自动勾画时间为从打开CT图像到勾画结束的时间。

Dice相似性系数(Dice Similarity Coefficient, DSC)<sup>[3]</sup>:

$$DSC = \frac{2 \cdot (V_{ref} \cap V_{auto})}{V_{ref} + V_{auto}} \quad (1)$$

其中, $V_{ref}$ 为参考勾画的体积, $V_{auto}$ 为自动勾画的体积。

质心偏差(Deviation of Centroid, DC):

$$DC = \sqrt{(x_{auto} - x_{ref})^2 + (y_{auto} - y_{ref})^2 + (z_{auto} - z_{ref})^2} \quad (2)$$

敏感性指数(Sensitivity Index, SI)<sup>[4]</sup>:

$$SI = \frac{V_{ref} \cap V_{auto}}{V_{ref}} \quad (3)$$

包容性系数(Inclusiveness Index, Incl)<sup>[5]</sup>:

$$Incl = \frac{V_{ref} \cap V_{auto}}{V_{auto}} \quad (4)$$

Jaccard系数(Jaccard Index, JAC)<sup>[6]</sup>:

$$JAC = \frac{V_{ref} \cap V_{auto}}{V_{ref} \cup V_{auto}} \quad (5)$$

Hausdorff距离(Hausdorff Distance, HD)<sup>[7]</sup>,假设有两组集合 $X=\{x_1, \dots, x_n\}$ 、 $Y=\{y_1, \dots, y_n\}$ ,则这两个点集合之间的Hausdorff距离定义为:

$$HD(X, Y) = \max(h(X, Y), h(Y, X)) \quad (6)$$

其中,  $h(X, Y) = \max_{x \in X} \min_{y \in Y} \|x - y\|$ 。

### 1.3 统计学方法

应用SPSS 22软件分析MIM软件的勾画结果,采用单因素方差法对数据进行统计学分析,并采用最小显著性差异法(LSD)进行事后多重比较,  $P < 0.05$

为差异有统计学意义。

## 2 结果

勾画匹配数为3时,危及器官勾画结果的对比如图1所示,勾画结果参数统计如表1所示;勾画匹配数为9时,危及器官勾画结果如表2所示。

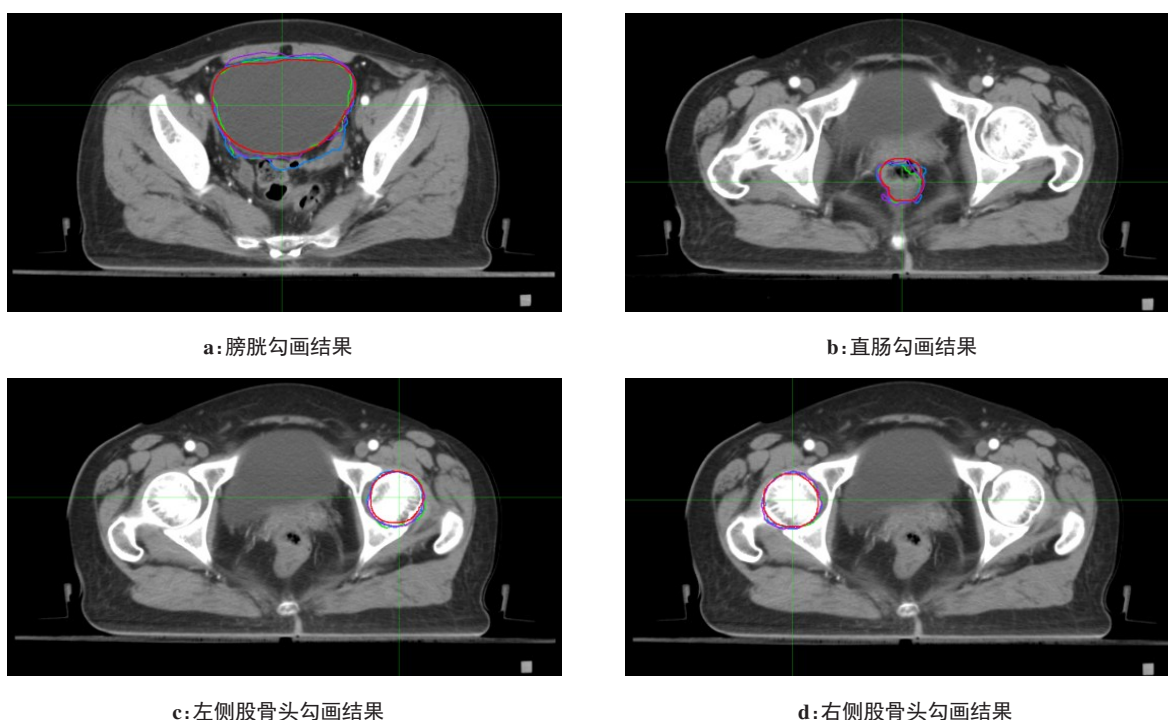


图1 不同模板数目勾画结果示意图(匹配数目为3)

Fig.1 Schematic diagram of segmentation results obtained by different Atlas databases (matching number: 3)

颜色显示:参考勾画(红色),模板数目30例勾画结果(绿色),模板数目60例勾画结果(黄色),模板数目90例勾画结果(蓝色),模板数目120例勾画结果(紫色)

### 2.1 时间结果

当匹配数目为3和9时,4组自动勾画时间基本相同(1.31~1.39 min, 5.07~5.24 min),均小于手动勾画所需时间(10.25 min),表明图谱库中模板病例数的增加不引起自动勾画时间的增加。勾画匹配数的增加会引起自动勾画时间的增加,但仍低于手动勾画所需时间。

### 2.2 膀胱结果

勾画匹配数为3时,30、60、90例图谱库的自动勾画结果分别与120例图谱库自动勾画结果之间的SI具有显著性差异( $P < 0.05$ ),120例图谱库自动勾画结果的SI低于其他3组,其他3组结果之间没有差异性;勾画匹配数为9时,各图谱库自动勾画结果之间无统计学差异( $P > 0.05$ )。

### 2.3 直肠结果

匹配数目为3时,30例图谱库的DSC( $0.44 \pm 0.13$ )

差于120例图谱库勾画结果( $0.57 \pm 0.14$ ) ( $P < 0.05$ ),其他3组勾画结果基本一致(DSC均值0.52~0.57),SI显示30例图谱库的勾画结果显著小于90、120例图谱库的勾画结果( $P < 0.05$ ),HD显示120例图谱库显著小于30例和60例图谱库( $P < 0.05$ ),JAC表明30例图谱库显著小于120例图谱库勾画结果( $P < 0.05$ );勾画匹配数为9时,各评价参数中仅HD有统计学意义,30、60、90例图谱库的自动勾画结果大于120例图谱库的自动勾画结果。

### 2.4 双侧股骨头结果

匹配数目为3和9时,4组图谱库的自动勾画结果之间没有显著性差异,均处于较好的水平。

## 3 讨论

放疗技术的飞速发展使治疗方式从二维照射发展为三维适形、调强和立体定向放射治疗,新技术的发展对放射治疗过程中每个环节的精确度要求逐渐



表1 不同图谱库自动勾画危及器官的结果(匹配数为3)( $\bar{x} \pm s$ )Tab.1 Results of auto-segmentation of organs-at-risk by different Atlas databases (matching number: 3) ( $Mean \pm SD$ )

参数	$V_{AC-30-3}$	$V_{AC-60-3}$	$V_{AC-90-3}$	$V_{AC-120-3}$	P值
膀胱					
DSC	0.79±0.15	0.84±0.07	0.83±0.09	0.84±0.05	0.65
SI	0.95±0.03	0.95±0.03	0.94±0.04	0.90±0.07	*△○
Incl	0.70±0.19	0.75±0.10	0.76±0.13	0.80±0.11	0.46
DC/cm	0.98±0.85	0.61±0.32	0.67±0.46	0.65±0.38	0.40
HD/cm	3.68±2.15	2.88±1.09	3.18±1.52	3.20±2.01	0.78
JAC	0.67±0.18	0.72±0.10	0.72±0.13	0.73±0.08	0.77
直肠					
DSC	0.44±0.13	0.52±0.06	0.54±0.07	0.57±0.14	*
SI	0.40±0.15	0.50±0.06	0.52±0.08	0.56±0.18	*□
Incl	0.52±0.14	0.56±0.12	0.57±0.11	0.61±0.14	0.55
DC/cm	1.66±0.99	1.59±0.80	1.61±0.76	1.03±0.63	0.27
HD/cm	3.85±0.41	3.84±0.78	3.68±0.57	3.03±1.40	*△
JAC	0.29±0.12	0.36±0.06	0.37±0.07	0.41±0.12	*
左侧股骨头					
DSC	0.87±0.02	0.86±0.04	0.86±0.03	0.88±0.03	0.28
SI	0.90±0.07	0.87±0.09	0.87±0.07	0.90±0.06	0.59
Incl	0.85±0.04	0.87±0.05	0.86±0.06	0.87±0.05	0.70
DC/cm	0.16±0.07	0.23±0.14	0.23±0.13	0.19±0.11	0.44
HD/cm	1.18±0.38	1.28±0.42	1.26±0.41	1.08±0.31	0.65
JAC	0.78±0.05	0.75±0.06	0.76±0.04	0.79±0.05	0.26
右侧股骨头					
DSC	0.86±0.03	0.85±0.03	0.85±0.05	0.87±0.03	0.56
SI	0.93±0.06	0.88±0.07	0.89±0.06	0.90±0.07	0.38
Incl	0.81±0.05	0.83±0.06	0.83±0.09	0.86±0.06	0.42
DC/cm	0.25±0.12	0.27±0.17	0.27±0.20	0.18±0.10	0.50
HD/cm	1.44±0.25	1.32±0.31	1.42±0.39	1.46±0.29	0.77
JAC	0.76±0.04	0.74±0.05	0.75±0.07	0.78±0.04	0.49

DSC: Dics 相似性系数; SI: 敏感性指数; Incl: 包容性指数; DC: 质心偏差; JAC: Jaccard 系数; HD: Hausdorff 距离; 各个符号代表不同组之间具有统计学差异( $P < 0.05$ ), \*表示  $V_{AC-30-3}$  与  $V_{AC-120-3}$  之间具有统计学差异; △表示  $V_{AC-60-3}$  与  $V_{AC-120-3}$  之间具有统计学差异; ○表示  $V_{AC-90-3}$  与  $V_{AC-120-3}$  之间具有统计学差异; □表示  $V_{AC-30-3}$  与  $V_{AC-90-3}$  之间具有统计学差异

严格, 为了提高肿瘤控制率、最大限度地保护危及器官、确保精确治疗, 精确的轮廓勾画是重要的一步。常规的医生手动勾画危及器官, 不仅花费的时间较长, 而且还存在勾画者间的差异性, 对于自适应放疗来说, 虽然重新定位以及制定计划会明显地提高其肿瘤覆盖率并且极大程度地保护危及器官<sup>[8]</sup>, 但重复定位后的轮廓勾画在无形中加重了医生的任务, 因

表2 不同图谱库自动勾画危及器官的参数结果(匹配数为9)( $\bar{x} \pm s$ )Tab.2 Results of auto-segmentation of organs-at-risk by different Atlas databases (matching number: 9) ( $Mean \pm SD$ )

参数	$V_{AC-30-9}$	$V_{AC-60-9}$	$V_{AC-90-9}$	$V_{AC-120-9}$	P值
膀胱					
DSC	0.81±0.14	0.85±0.09	0.86±0.10	0.87±0.05	0.51
SI	0.96±0.02	0.94±0.03	0.95±0.03	0.93±0.05	0.31
Incl	0.72±0.20	0.79±0.14	0.79±0.15	0.82±0.10	0.44
DC/cm	0.90±0.76	0.65±0.54	0.61±0.59	0.48±0.17	0.35
HD/cm	3.20±1.91	2.85±1.36	2.81±1.66	2.22±0.60	0.50
JAC	0.69±0.18	0.75±0.12	0.76±0.13	0.77±0.07	0.55
直肠					
DSC	0.52±0.13	0.51±0.11	0.50±0.11	0.60±0.15	0.28
SI	0.45±0.16	0.46±0.14	0.45±0.13	0.56±0.18	0.30
Incl	0.64±0.13	0.61±0.14	0.60±0.14	0.68±0.17	0.60
DC/cm	1.42±0.81	1.74±0.81	1.66±0.82	1.03±0.67	0.19
HD/cm	3.23±0.68	3.64±0.64	3.25±0.62	2.31±0.55	*△○
JAC	0.35±0.11	0.35±0.10	0.34±0.10	0.44±0.14	0.15
左侧股骨头					
DSC	0.89±0.02	0.88±0.02	0.87±0.07	0.89±0.02	0.60
SI	0.91±0.05	0.88±0.05	0.87±0.14	0.88±0.05	0.78
Incl	0.87±0.06	0.89±0.04	0.93±0.09	0.90±0.04	0.36
DC/cm	0.18±0.07	0.18±0.10	0.20±0.14	0.19±0.10	0.99
HD/cm	0.86±0.27	0.80±0.14	0.83±0.27	0.86±0.15	0.94
JAC	0.80±0.03	0.79±0.03	0.77±0.08	0.80±0.04	0.65
右侧股骨头					
DSC	0.88±0.03	0.87±0.03	0.87±0.06	0.89±0.02	0.70
SI	0.91±0.06	0.90±0.06	0.89±0.11	0.90±0.04	0.90
Incl	0.86±0.05	0.85±0.05	0.87±0.06	0.88±0.03	0.57
DC/cm	0.20±0.10	0.25±0.12	0.21±0.16	0.17±0.11	0.44
HD/cm	0.82±0.28	0.84±0.28	0.87±0.36	0.84±0.27	0.99
JAC	0.79±0.04	0.78±0.05	0.77±0.09	0.80±0.04	0.65

各个符号代表不同组之间具有统计学差异( $P < 0.05$ ), \*表示  $V_{AC-30-9}$  与  $V_{AC-120-9}$  之间具有统计学差异; △表示  $V_{AC-60-9}$  与  $V_{AC-120-9}$  之间具有统计学差异; ○表示  $V_{AC-90-9}$  与  $V_{AC-120-9}$  之间具有统计学差异

而临床上对自动勾画软件工具的需求迫切<sup>[9]</sup>。

在国内外对于自动轮廓勾画的研究中发现, 自动勾画软件可以一定程度上改善勾画者间的差异性, 对于复杂部位的勾画能得到较为满意的结果, 并且可减少医生的勾画时间, 从而提高工作效率。大部分的研究内容围绕单图谱和多图谱<sup>[10-11]</sup>之间的勾画结果比较、对自动勾画软件的勾画结果评价<sup>[12]</sup>、自动勾画软件间比较<sup>[13]</sup>、勾画者差异性比较<sup>[14-15]</sup>、对剂量的影响<sup>[16]</sup>等, 对于勾画优劣影响因素的探索、多评价指数分析以及大

数据勾画模板库的建立使用并没有较多研究提及<sup>[17-19]</sup>。

本研究通过改变图谱库入库病例数发现,对于MIM软件而言图谱库中模板病例数的增加不会引起自动勾画时间的增加,说明图谱库的大小不会影响勾画效率,与手动勾画相比节省了勾画时间。

对于边界较为明显的膀胱来说,勾画匹配数选择3时,30例图谱库的DSC平均值为0.79,而其他3组的DSC平均值为0.83~0.84,说明30例图谱库的勾画结果较其他3组略差,但都高于0.70<sup>[20]</sup>,均基本可满足临床应用需要,而且随着模板数增加存在变好的趋势。60例和90例图谱库的勾画结果较为相近,120例图谱库的勾画结果相对较好,勾画匹配数选择为9时得出了类似的结论。

对于直肠的自动勾画,勾画匹配数选择3时,30例图谱库的勾画结果差于其他3组,4组结果的DSC均处于较低值范围(0.44~0.57),30例与60例图谱库的结果相近,90例与120例图谱库结果相近;勾画匹配数选择9时,30、60、90例图谱库的勾画结果相似,都略差于120例图谱库的勾画结果,120例图谱库的勾画结果相对较好,但综合比较发现,不管模板数增加与否,直肠作为形变较大的器官,其充盈程度无法控制,而且直肠的形状因人而异,是勾画较为困难的组织,勾画结果的DSC均在0.5左右浮动,勾画结果整体略差。

对于双侧股骨头来说,由于其骨性标志明显,即使利用较小图谱库也能得到较好的勾画结果(DSC>0.85)。

综上所述,对于骨性标志明显的结构,由于边界清晰,图谱库选择30例就能够得到较好的效果,但对于其他器官,采用30例图谱库勾画时整体结果较差,对60例以上的图谱库而言虽然较大的图谱库略有优势,但临床中建立120例与60例图谱库相比,工作量增加1倍。因此,对于宫颈癌患者来说,利用MIM软件实施基于图谱的自动勾画时建议采用60例作为临床模板库病例数就基本能满足临床的需要。当然,对于影响自动勾画结果的更多因素,仍需进一步的探索。

## 【参考文献】

- [1] 李晔雄,汪华. 肿瘤放射治疗的历史与发展[J]. 中国肿瘤, 2008, 17(9): 775-779.  
LI Y X, WANG H. History and development of tumor radiotherapy[J]. China Cancer, 2008, 17(9): 775-779.
- [2] TEGUH D N, LEVENDAG P C, VOET P W, et al. Clinical validation of atlas-based auto-segmentation of multiple target volumes and normal tissue (swallowing/mastication) structures in the head and neck[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 81(4): 950-957.
- [3] DICE L R. Measures of the amount of ecologic association between species[J]. Ecology, 1945, 26(3): 297-302.
- [4] TSUJI S Y, HWANG A, WEINBERG V, et al. Dosimetric evaluation of automatic segmentation for adaptive IMRT for head-and-neck cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 77(3): 707-714.
- [5] MACCHIA M L, FELLIN F, AMICHETTI M, et al. Systematic evaluation of three different commercial software solutions for automatic segmentation for adaptive therapy in head-and-neck, prostate and pleural cancer[J]. Radiat Oncol, 2012, 7(1): 547-553.
- [6] JACCARD P. The distribution of the flora in the alpine zone[J]. New Phytol, 1901, 11(2): 37-50.
- [7] HUTTENLOCHER D P, KLANDERMAN G A, RUCKLIDGE W A. Comparing images using the Hausdorff distance[J]. IEEE Trans Pattern Anal, 1993, 15(9): 850-863.
- [8] NUVER T T, HOOGEEMAN M S, REMEIJER P, et al. An adaptive off-line procedure for radiotherapy of prostate cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2007, 67(5): 1559-1567.
- [9] SPEIGHT R, PRESTWICH R, SEN M, et al. Assessing the accuracy of atlas-based automatic segmentation of volumes for adaptive treatment in the head and neck[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 84(3): S788-S789.
- [10] ZHUANG X, BAI W, SONG J, et al. Multiatlas whole heart segmentation of CT data using conditional entropy for atlas ranking and selection[J]. Med Phys, 2015, 42(7): 3822-3833.
- [11] TAO C J, YI J L, CHEN N Y, et al. Multi-subject atlas-based auto-segmentation reduces interobserver variation and improves dosimetric parameter consistency for organs at risk in nasopharyngeal carcinoma: a multi-institution clinical study[J]. Radiother Oncol, 2015, 115(3): 407-411.
- [12] 吴昕, 刘磊, 肖江洪, 等. 鼻咽癌靶区的自动勾画评价[J]. 四川医学, 2015, 36(6): 762-766.  
WU X, LIU L, XIAO J H, et al. Evaluation of automatic delineation of nasopharyngeal carcinoma target[J]. Sichuan Medical Journal, 2015, 36(6): 762-766.
- [13] 单书灿, 邱杰, 全红, 等. 自动勾画软件对鼻咽癌靶区和危及器官勾画结果对比分析[J]. 中国医学装备, 2015, 12(7): 33-36.  
SHAN S C, QIU J, QUAN H, et al. Comparison of the two softwares for ABAS in NPC[J]. China Medical Equipment, 2015, 12(7): 33-36.
- [14] BROUWER C L, STEENBAKKERS R J, HEUVEL E V, et al. 3D variation in delineation of head and neck organs at risk[J]. Radiat Oncol, 2012, 7(1): 1-10.
- [15] HONG T S, TOMA W A, HARARI P M. Heterogeneity in head and neck IMRT target design and clinical practice[J]. Radiother Oncol, 2012, 103(1): 92-98.
- [16] NELMS B E, TOME W A, ROBINSON G, et al. Variations in the contouring of organs at risk: test case from a patient with oropharyngeal cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 82(1): 368-378.
- [17] ANTOINE C, WEBSTER G, TIFFANY M, et al. PO-0868: optimal atlas size within OnQrts for automated contouring of head and neck anatomical structures[J]. Radiother Oncol, 2013, 106: S336.
- [18] GRESSWELL S, RENZ P, WERTS D, et al. (P059) impact of increasing atlas size on accuracy of an atlas-based auto-segmentation program (ABAS) for organs-at-risk (OARS) in head and neck (H&N) cancer patients[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2017, 98(2): E31.
- [19] 谷珊珊, 田娟秀, 王运来, 等. 基于MIM软件模板数据库的病例数对危及器官自动勾画的探讨[J]. 中国医学装备, 2018, 15(3): 1-4.  
GU S S, TIAN J X, WANG Y L, et al. Exploration for automatically delineation of organ at risk based on medical case number of template database in MIM software[J]. China Medical Equipment, 2018, 15(3): 1-4.
- [20] ZIJDENBOS A P, DAWANT B M, MARGOLIN R A, et al. Morphometric analysis of white matter lesions in MR images: method and validation[J]. IEEE Trans Med Imaging, 1994, 13(4): 716-724.

(编辑:陈丽霞)