

## 智能放疗云平台自动勾画食管癌患者心脏结构的应用

时飞跃<sup>1,2</sup>, 王敏<sup>1</sup>, 秦伟<sup>1</sup>, 金洵<sup>3</sup>, 赵环宇<sup>1</sup>

1. 南京医科大学附属南京医院(南京市第一医院)肿瘤放疗中心, 江苏 南京 210006; 2. 南京医科大学医学物理研究中心, 江苏 南京 210029; 3. 南京中医药大学第二临床医学院, 江苏 南京 210023

**【摘要】目的:**测试和评估智能放疗云平台(RAIC.OIS)在食管癌患者心脏结构自动勾画中的应用。**方法:**选取2018年2月~11月收治的20例食管癌患者进行研究。首先,将20例患者的放疗定位CT图像从Eclipse治疗计划系统传输至连心医疗的智能放疗云平台(RAIC.OIS);然后,使用RAIC.OIS的自动勾画工具,对CT图像中的心脏结构进行自动勾画;最后,将勾画好的结构文件传输并导入Eclipse。通过比较自动勾画和手工勾画的体积差异、位置差异、形状一致性和勾画时间,评估该软件的自动勾画工具应用于心脏结构自动勾画的可行性。**结果:**根据测量的数据结果,发现有1例患者的心脏形状和位置比较特殊,排除该患者的数据,对余下19例患者的数据进行统计分析。自动和手工两种方式勾画食管癌患者心脏结构的体积差异为 $(-17.08 \pm 8.66)\%$ ,相似性指数值为 $0.87 \pm 0.05$ 。x、y和z这3个方向的位置差异分别为 $(0.12 \pm 0.09)$ 、 $(0.11 \pm 0.08)$ 和 $(0.22 \pm 0.16)$  cm,总位置差异为 $(0.31 \pm 0.14)$  cm。19例患者的自动勾画时间为 $(83 \pm 12)$  s,手工勾画时间为 $(284 \pm 58)$  s。**结论:**智能放疗云平台的自动勾画工具,对绝大部分食管癌患者的心脏勾画能够达到满意的结果。使用该工具可缩短心脏结构的勾画时间,提高放疗工作效率。

**【关键词】**食管癌;自动勾画;心脏;放射治疗;云平台

**【中图分类号】**R318;R815.6

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2019)12-1377-06

## Application of RAIC.OIS in automatic segmentation of the heart in patients with esophageal cancer

SHI Feiyue<sup>1,2</sup>, WANG Min<sup>1</sup>, QIN Wei<sup>1</sup>, JIN Xun<sup>3</sup>, ZHAO Huanyu<sup>1</sup>

1. Radiation Therapy Center, Nanjing First Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210006, China; 2. Center of Medical Physics, Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China; 3. Second Clinical Medical College, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China

**Abstract: Objective** To test and evaluate the application of intelligent radiotherapy cloud platform (RAIC.OIS) for automatically segmenting the heart in patients with esophageal cancer. **Methods** Twenty patients with esophageal cancer admitted to hospital from February to November 2018 were enrolled in the study. The planning CT images of 20 patients were firstly transferred from Eclipse treatment planning system to RAIC.OIS of LINKING MED. Then the heart in CT images was automatically segmented by RAIC.OIS. Finally, the structure files of the heart were transferred to Eclipse after automatic segmentation. The feasibility of using the proposed software for automatic segmentation of the heart was evaluated by comparing the differences in volume, position, Dice similarity coefficient and segmentation time between automatic segmentation and manual segmentation. **Results** The measurement results showed that the shape and position of the heart in a certain patient were special. After eliminating the data of the patient, statistical analysis was conducted on the data of the other 19 patients. The differences in volume between automatic segmentation and manual segmentation were  $(-17.08 \pm 8.66)\%$ , and Dice similarity coefficient value was  $0.87 \pm 0.05$ . The position differences of x, y and z directions were  $(0.12 \pm 0.09)$ ,  $(0.11 \pm 0.08)$  and  $(0.22 \pm 0.16)$  cm, respectively, and the total position difference was  $(0.31 \pm 0.14)$  cm. The time for automatic segmentation and manual segmentation for the 19 patients were  $(83 \pm 12)$  and  $(284 \pm 58)$  s, respectively. **Conclusion** The proposed intelligent radiotherapy cloud platform can be used to obtain satisfactory automatic segmentation of the heart in most patients with esophageal cancer. The use of proposed automatic segmentation software can shorten the time for the heart segmentation and improve working efficiency.

**Keywords:** esophageal cancer; automatic segmentation; heart; radiotherapy; cloud platform

**【收稿日期】**2019-06-21

**【基金项目】**国家自然科学基金青年科学基金(81603674);江苏省自然科学基金青年基金(BK20161049)

**【作者简介】**时飞跃,博士,助理研究员,研究方向:肿瘤放射物理,E-mail: shifeiyue2013@126.com

**【通信作者】**赵环宇,副主任医师,研究方向:肿瘤放射治疗,E-mail: oncodoc@sina.com

## 前言

食管癌是我国高发的恶性肿瘤之一,其发病率和死亡率均居我国恶性肿瘤的第4位,早期不易发现,多数患者确诊时已为中晚期,预后较差,局部控制率和生存期均不理想<sup>[1-3]</sup>。食管癌好发于中老年,而且90%病理组织类型为鳞状细胞癌,对放射线敏感,因此放射治疗在食管癌治疗中起到不可或缺的作用<sup>[4]</sup>。随着放疗技术的发展,以放射治疗为主的综合治疗成为中晚期食管癌的标准治疗方法之一,调强放射治疗(IMRT)已广泛应用于食管癌的治疗中<sup>[5-8]</sup>。对于食管癌放疗患者,放疗医师需要对所有靶区和相关危及器官(包括心脏、双肺、脊髓等)进行勾画,此过程费时费力,占用了临床医师大量宝贵时间。近年来,随着自动勾画技术的不断发展,出现了多种自动勾画软件,如ABAS软件、MIM、OnQ等软件<sup>[9-11]</sup>。连心医疗的智能放疗云平台(RAIC.OIS),其自动勾画工具可以实现对多种危及器官进行自动勾画,目前国内尚无对其测评的报道。本文应用智能放疗云平台的自动勾画工具对食管癌患者的心脏结构进行自动勾画,并比较分析自动和手动两种勾画方式的差异。

## 1 材料与方法

### 1.1 智能放疗云平台

连心医疗的智能放疗云平台(RAIC.OIS)是以放疗患者为中心,建立护士、放疗医师、物理师、放疗技师等多角色的协同办公,贯穿患者登记、建立处方剂量、患者靶区定位、智能勾靶、计划申请、计划审签、计划剂量验证、患者复位验证、患者治疗过程管理、加速器质控管理的放疗全流程智能管理平台。

RAIC.OIS的自动勾画工具,可以对头、颈、胸、腹和盆腔的多个危及器官结构进行自动勾画。对心脏结构,该工具不仅可自动勾画心脏外轮廓,还可自动勾画左右心房和左右心室。本研究使用的RAIC.OIS,发布于2018年10月,版本号为v2.0.16。

### 1.2 病例选择

选取2018年2月~11月南京医科大学附属南京医院(南京市第一医院)收治的食管癌患者20例,男17例,女3例,中位年龄为69岁(43~87岁)。对20例患者进行编号,分别为P1、P2、P3、…、P20。在放疗日常工作中,使用西门子Sensation Open CT模拟机对食管癌患者进行CT定位扫描,层厚5 mm,扫描结束后将CT图像传输至Eclipse治疗计划系统。

### 1.3 心脏勾画

自动勾画:首先将20例食管癌患者的放疗CT图

像从Eclipse治疗计划系统传输至智能放疗云平台(RAIC.OIS),应用RAIC.OIS对每例CT图像建立结构集合,选择胸部的自动勾画模块,选择仅勾画心脏,其余正常组织和器官不勾画,自动勾画完成后将勾画好的结构文件传输并导入Eclipse。

手工勾画:所选取的20例食管癌患者,均已经过放疗工作人员使用Eclipse的勾画工具进行心脏结构的手工勾画,手工勾画的心脏结构数据保存在Eclipse中。

### 1.4 评价指标

通过检测自动勾画与手工勾画两者之间的体积差异、位置差异以及形状一致性来评估自动勾画与手工勾画的吻合度,研究中以手工勾画为参考。

(1)自动勾画与手工勾画的体积差异定义为:

$$\Delta V\% = \frac{V_{\text{自动}} - V_{\text{手工}}}{V_{\text{手工}}} \times 100\% \quad (1)$$

其中, $V_{\text{自动}}$ 和 $V_{\text{手工}}$ 分别代表自动勾画和手工勾画的结构体积。

(2)自动勾画与手工勾画的位置差异定义为:

$$\Delta x = |x_{\text{自动}} - x_{\text{手工}}| \quad (2)$$

$$\Delta y = |y_{\text{自动}} - y_{\text{手工}}| \quad (3)$$

$$\Delta z = |z_{\text{自动}} - z_{\text{手工}}| \quad (4)$$

$$\Delta L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (5)$$

其中, $x_{\text{自动}}$ 和 $x_{\text{手工}}$ 分别代表自动和手工两种情形结构几何中心坐标在x方向的坐标值。y和z方向依此类推。 $\Delta L$ 代表总位置差异。

(3)自动勾画与手工勾画的形状一致性定义为:

$$\text{DSC} = \frac{2|V_{\text{自动}} \cap V_{\text{手工}}|}{V_{\text{自动}} + V_{\text{手工}}} \quad (6)$$

相似性指数(Dice Similarity Coefficient, DSC)值范围为0~1,值越大表示两个轮廓形状的相似性越高。DSC>0.7代表两个结构重合较好<sup>[12-13]</sup>。

## 2 结果

图1、图2和图3分别显示自动勾画与手工勾画之间的体积差异、位置差异和形状一致性。由图1可知,自动勾画与手工勾画之间的体积差异 $\Delta V\%$ 均小于0,这表明与手工勾画相比,自动勾画的心脏体积偏小。图2显示,大部分患者心脏的自动勾画与手动勾画之间的位置差异较小,除P17之外,心脏自动勾画的位置差异在x、y、z方向上分别小于2.9、2.5、5.2 mm。从图3可以看出,除P17之外(DSC=0.65),心脏自动勾画的DSC值均大于0.70,表明自动勾画和手工勾画心脏的形状有较好的吻合性。

由图1、图2和图3可知,P17患者的数据与其他患

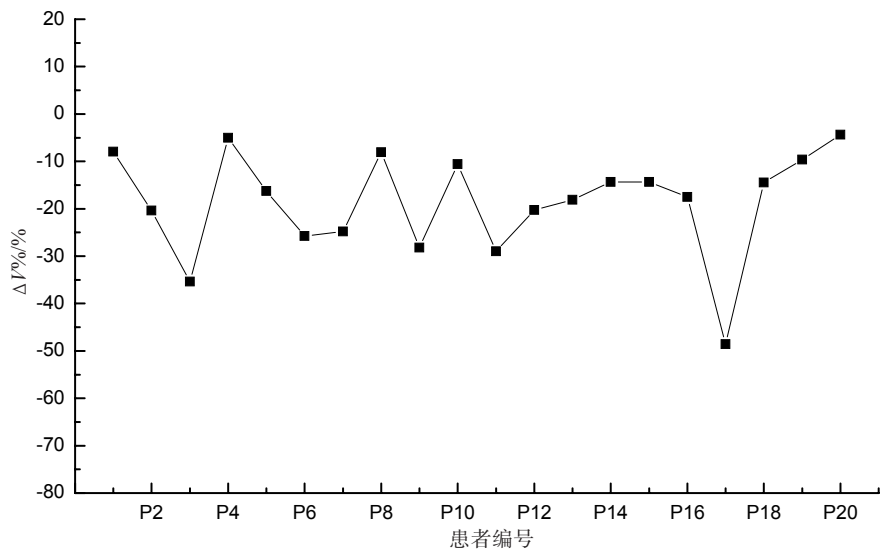


图1 自动和手工两种方式勾画食管癌患者心脏的体积差异

Fig.1 Volume differences between automatic and manual segmentations for patients with esophageal cancer

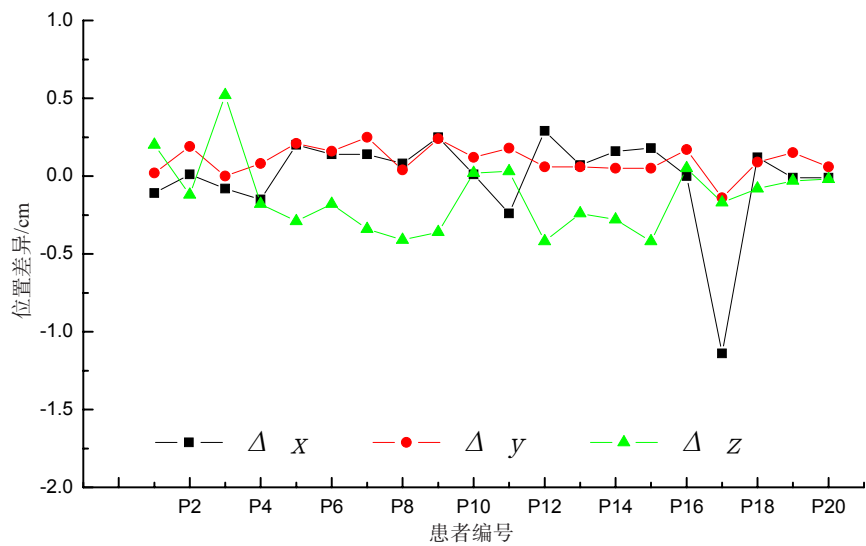


图2 自动和手工两种方式勾画20例食管癌患者心脏的位置差异

Fig.2 Position differences of x, y and z directions between automatic and manual segmentations for 20 patients with esophageal cancer

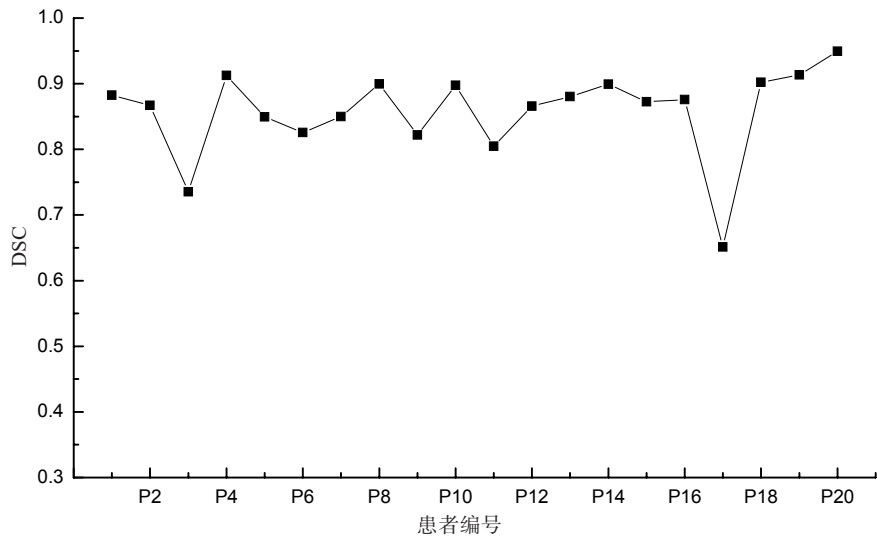


图3 自动和手工两种方式勾画食管癌患者心脏的DSC值

Fig.3 Dice similarity coefficient values of automatic and manual segmentations for patients with esophageal cancer

者的数据差异较大,重新检查该患者的CT图像,发现该患者心脏形状和位置特殊(图4),可能是因为患者做过相关手术导致心脏偏向一侧。因此,去除该患者的数据,对其他19例患者的数据进行统计分析,结果列于表1。由表1可知,自动和手工两种方式勾画食管癌患

者心脏结构的体积差异为 $(-17.08\pm8.66)\%$ ,DSC值为 $0.87\pm0.05$ 。x、y和z这3个方向的位置差异分别为 $(0.12\pm0.09)$ 、 $(0.11\pm0.08)$ 和 $(0.22\pm0.16)$  cm,总位置差异为 $(0.31\pm0.14)$  cm。

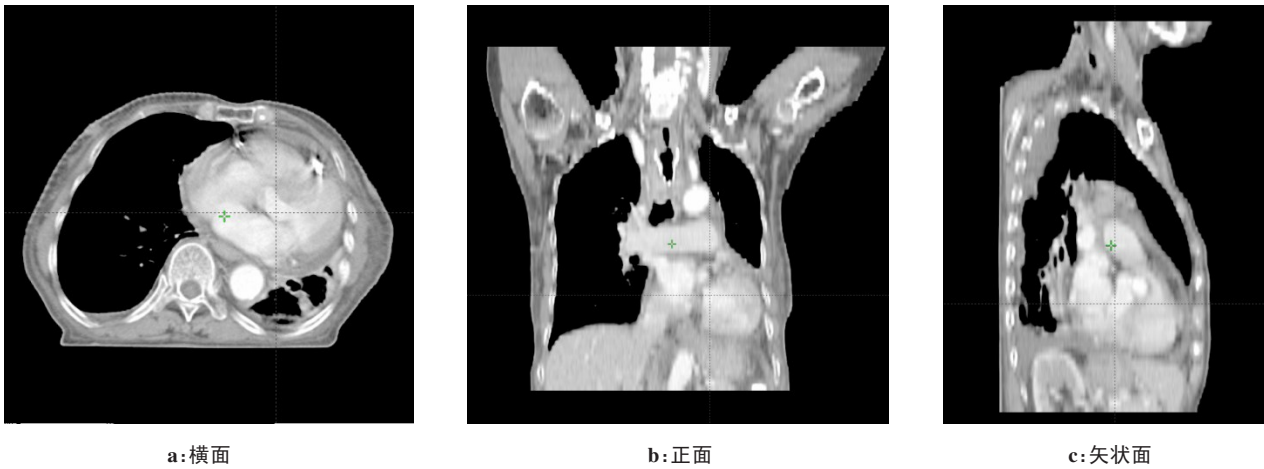


图4 有特殊形状和位置心脏的P17患者的CT图像  
Fig.4 CT images of P17 patient with a heart of special shape and position

表1 19例患者心脏勾画的统计数据

Tab.1 Statistical data of automatic heart segmentation for 19 patients

参数	最大值	最小值	平均值	标准差
DSC	0.95	0.74	0.87	0.05
自动勾画体积/cm <sup>3</sup>	801.49	377.94	538.79	124.26
手动勾画体积/cm <sup>3</sup>	877.50	503.49	646.64	108.35
$\Delta V\%/ \%$	-4.39	-35.38	-17.08	8.66
勾画时间/s	109	67	83	12
$\Delta x/\text{cm}$	0.29	0.00	0.12	0.09
$\Delta y/\text{cm}$	0.25	0.00	0.11	0.08
$\Delta z/\text{cm}$	0.52	0.02	0.22	0.16
$\Delta L/\text{cm}$	0.53	0.06	0.31	0.14

对19例患者两种方式勾画心脏结构的时间进行统计分析和比较。自动勾画和手工勾画时间的均数值±标准差分别为 $(83\pm12)$ 和 $(284\pm58)$  s。关于本研究中手工勾画心脏结构的时间数据,是对19例患者重新勾画并计时得到的。相比于手工勾画,自动勾画减少大约71%的时间。

3 讨论

现代精确放射治疗要求对肿瘤靶区进行高剂量精确照射,同时保护周围正常组织和重要危及器官免受或少受损伤。这就对放疗医师勾画肿瘤靶区和

危及器官的准确性提出更高的要求。然而,危及器官的勾画是技术含量相对较低的重复性劳动,耗费放疗医师大量的时间和精力,并且危及器官的勾画还易受到医师个体知识背景和经验的影响。利用计算机辅助自动或半自动勾画危及器官,不仅可以缩短勾画时间,而且可以有效减少不同医师个体主观判断所致勾画的差异<sup>[14-16]</sup>。近年来,自动轮廓勾画技术在放疗领域的应用日益增加,出现了多种商用自动轮廓勾画软件,如ABAS、MIM、Raysation、OnQ等。ABAS软件可使用单模板和多模板两种方式对危及器官进行自动轮廓勾画。使用ABAS软件,阴晓娟等<sup>[17]</sup>、胡江等<sup>[18]</sup>对头颈部肿瘤患者的危及器官自动勾画进行研究,陈开强等<sup>[19]</sup>对宫颈癌患者的危及器官的自动勾画进行研究。MIM软件的Atlas数据库使用基于交互信息的算法,选择一个与测试患者最佳匹配病例的勾画轮廓进行形变,将形变的结果映射到测试患者CT上,形成自动勾画的轮廓<sup>[20]</sup>。使用MIM软件,谷珊珊等<sup>[10]</sup>、顾科等<sup>[21]</sup>对鼻咽癌患者,蒋璠等<sup>[22]</sup>对鼻咽癌、乳腺癌、直肠癌患者,孙宇晨等<sup>[23]</sup>对宫颈癌患者的危及器官的自动勾画进行了研究。单书灿等<sup>[24]</sup>比较了Raysation和MIM两种自动勾画软件对鼻咽癌患者CT图像靶区和危及器官的勾画效果。张艺宝等<sup>[11]</sup>以乳腺癌和直肠癌计划为例,测评OnQ软件基于图谱库自动勾画的危及器官与临床标准的几何差异,并验证其有效性与准确性。



上述应用和研究,多采用基于图谱库的方法,需要选取一部分或一个病例数据作为训练集或单个模板,然后使用另一部分患者数据作为测试集。本研究与上述研究的不同之处在于,本研究没有使用本单位的一部分病例数据作为图谱库,而是直接使用智能放疗云平台的自动勾画工具来勾画患者的心脏结构。当然,本版本的RAIC.OIS在发布之前,厂家使用了许多病例数据作为训练集来获得自动勾画的配置参数。与使用图谱库的应用方法相比,本研究的应用方法更为简单直接。

对于食管癌放疗患者,放疗医师通常需要在其定位CT图像上,勾画左右双肺、脊髓、心脏等危及器官。目前,大多数商用治疗计划系统(例如瓦里安的Eclipse)提供了自动勾画肺和脊髓的功能,但是没有提供心脏的自动勾画功能。心脏是胸部肿瘤患者放疗计划中需要严格保护的器官,因而心脏结构的准确勾画对食管癌患者(尤其是中下段食管癌患者)的精确计划设计和剂量评估具有重要的意义。本研究的结果显示,RAIC.OIS的自动勾画与手工勾画心脏结构两种方式的DSC值为 $0.87 \pm 0.05$ (19例患者的统计数据)。这表明,对绝大多数食管癌患者,自动勾画和手工勾画符合较好。一般 $DSC > 0.7$ 即认为重合较好,在本研究中,除了P17患者外,其余19例患者的DSC值均大于0.7。体积差异 $\Delta V\%$ 的数据表明,自动勾画的心脏体积比手工勾画的体积偏小,平均偏小17%左右。位置差异数据的结果表明,自动勾画心脏的几何中心与手工勾画的几何中心在三维空间上平均偏移0.31 cm,这3个方向比较显示,z轴(头脚)方向的偏移最大。自动勾画和手动勾画的时间统计结果表明,对于心脏结构,自动勾画比手工勾画大约节约71%的时间。这表明,自动勾画可节约勾画时间,有效提高放疗工作效率。

综上所述,智能放疗云平台(RAIC.OIS)的自动勾画工具,对绝大部分食管癌患者的心脏勾画能达到满意的结果。使用该工具,可缩短心脏勾画时间,提高放疗工作效率。当然,本版本RAIC.OIS的自动勾画工具和本研究尚存在不足之处。首先,RAIC.OIS的自动勾画工具对P17这种特殊形状和位置的心脏结构勾画效果不好,DSC值小于0.7。其次,对于自动勾画的心脏结构,尚需放疗医师审核并手工修改,本研究的勾画时间尚未计入手工修改的时间。期望通过不断的优化和改进,将来智能放疗云平台对放疗危及器官自动勾画的能力越来越高,辅助放疗工作的效果越来越好。

致谢:衷心感谢连心医疗叶大亮和何飞跃在智能放疗云平台使用中提供的帮助和支持。

## 【参考文献】

- [1] 陈万青,郑荣寿,曾红梅,等. 2011年中国恶性肿瘤发病和死亡分析[J]. 中华肿瘤, 2015, 24(1): 1-10.  
CHEN W Q, ZHENG R S, ZENG H M, et al. Report of cancer incidence and mortality in China, 2011[J]. China Cancer, 2015, 24(1): 1-10.
- [2] 汤可维,赵彪,赵玉涛,等. 20例胸中段食管癌根治性放射治疗IMRT与TOMO剂量学比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(6): 643-647.  
TANG K W, ZHAO B, ZHAO Y T, et al. Dosimetric comparison between radical intensity-modulated radiotherapy and tomotherapy in 20 patients with middle thoracic esophageal cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(6): 643-647.
- [3] 谷丽娜,尹丹静,桑梅香,等. 黑色素瘤相关抗原A基因家族在食管癌患者外周血中的表达及其临床意义[J]. 中国肿瘤生物治疗杂志, 2018, 25(8): 803-809.  
GU L N, YIN D J, SANG M X, et al. Expression and clinical significance of melanoma antigen A gene family in peripheral blood of esophageal carcinoma patients[J]. Chinese Journal of Tumor Biotherapy, 2018, 25(8): 803-809.
- [4] 武兴娣,张清清,李莉娜,等. 中医药结合放疗治疗食管癌及机制的研究进展[J]. 中国肿瘤临床, 2018, 45(16): 859-862.  
WU X D, ZHANG Q Q, LI L N, et al. Advances of traditional Chinese medicine combined with radiotherapy for esophageal cancer and its mechanism[J]. Chinese Journal of Clinical Oncology, 2018, 45(16): 859-862.
- [5] 杨丽萍,高劲,周燕,等. 营养干预对食管癌同步放化疗疗效研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(9): 810-813.  
YANG L P, GAO J, ZHOU Y, et al. Effect of nutritional intervention on clinical efficacy of chemoradiotherapy for esophageal carcinoma patients[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(9): 810-813.
- [6] 曾静,庞青松,章文成,等. 食管癌根治性调强放疗大体肿瘤体积因素与靶区内放疗失败的关系[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(2): 85-89.  
ZENG J, PANG Q S, ZHANG W C, et al. Relationship between factors of gross tumor volume and locoregional failure of radical intensity-modulated radiation therapy for esophageal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(2): 85-89.
- [7] 邓文钊, Mamady Keita, 李曙光,等. 食管癌调强放疗同期加量与序贯加量的研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(10): 900-905.  
DENG W Z, MAMADY K, LI S G, et al. Comparative study between simultaneous integrated and sequential boost using intensity-modulated radiotherapy for esophageal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(10): 900-905.
- [8] 王振立,孙晓东,张耀文,等. 食管癌患者螺旋断层治疗的摆位误差分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(4): 429-432.  
WANG Z L, SUN X D, ZHANG Y W, et al. An analysis of setup errors in helical tomotherapy for esophageal cancer patients[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(4): 429-432.
- [9] 林金勇,阴晓娟,胡彩容,等. ABAS自动勾画软件应用于头颈部肿瘤调强放疗中的剂量学研究[J]. 肿瘤学杂志, 2018, 24(6): 644-648.  
LIN J Y, YIN X J, HU C R, et al. Dosimetric evaluation of atlas-based autosegmentation (ABAS) software in head and neck cancer radiotherapy[J]. Journal of Chinese Oncology, 2018, 24(6): 644-648.
- [10] 谷珊珊,田娟秀,宋明永,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, SONG M Y, 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.
- [11] 张艺宝, 吴昊, 李莎, 等. 临床前验证与几何对比分析基于图谱库的危及器官自动勾画[J]. 中国医学物理学杂志, 2015, 32(6): 761-767. ZHANG Y B, WU H, LI S, et al. Pre-clinical verification and geometric comparative analysis of atlas-based automatic delineation for organs at risk[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2015, 32(6): 761-767.
- [12] ELDESOKY A R, YATES E S, NYENG T B, et al. Internal and external validation of an ESTRO delineation guideline-dependent automated segmentation tool for loco-regional radiation therapy of early breast cancer[J]. Radiother Oncol, 2016, 121(3): 424-430.
- [13] 杜国波, 蒋利华, 郭飞, 等. ABAS软件自动勾画技术在鼻咽癌调强放疗中的应用[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(1): 63-64. DU G B, JIANG L H, GUO F, et al. Application of ABAS software automatic delineation technology in intensity modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(1): 63-64.
- [14] YOUNG A, WORTHAM A, WERNICK I, et al. Atlas-based segmentation improves consistency and decreases time required for contouring postoperative endometrial cancer nodal volumes[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 79(3): 943-947.
- [15] LANGMACK K, PERRY C, SINSTEAD C, et al. The utility of atlas-assisted segmentation in the male pelvis is dependent on the interobserver agreement of the structures segmented[J]. Br J Radiol, 2014, 87(1043): 20140299.
- [16] GAMBACORTA M A, VALENTINI C, DINAPOLI N, et al. Clinical validation of atlas-based auto-segmentation of pelvic volumes and normal tissue in rectal tumors using auto-segmentation computed system[J]. Acta Oncol, 2013, 52(8): 1676-1681.
- [17] 阴晓娟, 胡彩容, 张秀春, 等. 基于图谱库的ABAS自动勾画软件在头颈部肿瘤中的可行性研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(11): 1233-1237. YIN X J, HU C R, ZHANG X C, et al. The feasibility study of atlas-based autosegmentation (ABAS) software in head-and-neck cancer[J]. China Medical Equipment, 2016, 25(11): 1233-1237.
- [18] 胡江, 王明理, 徐林, 等. 头颈部肿瘤放疗单模板自动轮廓勾画软件的应用[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2015, 22(8): 618-622. HU J, WANG M L, XU L, et al. Application of single-template atlas-based auto-segmentation in head and neck carcinoma[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2015, 22(8): 618-622.
- [19] 陈开强, 陈文娟, 倪晓雷, 等. 基于图谱库的自动轮廓勾画软件在宫颈癌自适应放疗中的应用[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(2): 111-113. CHEN K Q, CHEN W J, NI X L, et al. Systematic evaluation of atlas-based autosegmentation (ABAS) software for adaptive radiation therapy in cervical cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Medicine and Protection, 2015, 35(2): 111-113.
- [20] AMY V Y, ANGELA W, IDDO W, et al. Atlas-based segmentation improves consistency and decreases time required for contouring postoperative endometrial cancer nodal volumes[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 79(3): 943-947.
- [21] 顾科, 李成, 吴锦昌, 等. 鼻咽癌调强放疗计划设计中自动勾画剂量限制结构的初步应用[J]. 国际生物医学工程杂志, 2016, 39(5): 299-302. GU K, LI C, WU J C, et al. Application of automatic generation of dose limited structures in intensity modulated radiation therapy planning for nasopharyngeal carcinoma[J]. International Journal of Biomedical Engineer, 2016, 39(5): 299-302.
- [22] 蒋皓, 吴昊, 张健, 等. 基于最优自动勾画的放疗计划剂量学评估[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(4): 423-428. JIANG F, WU H, ZHANG J, et al. A dosimetric evaluation of treatment planning based on optimal auto-segmentation[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(4): 423-428.
- [23] 孙宇晨, 张晓智, 李毅. 自动轮廓勾画软件构建图谱库在宫颈癌放疗中应用探讨[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(10): 1167-1172. SUN Y C, ZHANG X Z, LI Y. Clinical feasibility of atlas-based auto-segmentation software in radiotherapy for cervical cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(10): 1167-1172.
- [24] 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构对比分析[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 software for ABAS in NPC[J]. China Medical Equipment, 2015, 12(7): 33-36.

(编辑:陈丽霞)