

## 基于深度学习的rtStation软件自动勾画乳腺癌术后患者心脏结构的应用分析

时飞跃<sup>1,2</sup>,王敏<sup>1</sup>,赵紫婷<sup>3</sup>,秦伟<sup>1</sup>,赵环宇<sup>1</sup>,魏晓为<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. 南京医科大学附属南京医院(南京市第一医院)医疗设备处, 江苏 南京 210006

**【摘要】目的:**使用基于深度学习的rtStation软件对乳腺癌术后患者的心脏结构进行自动勾画,对自动勾画的准确性进行测试和评估。**方法:**选取40例乳腺癌术后患者进行研究,分为左侧保乳(LB)组、右侧保乳(RB)组、左侧根治(LG)组和右侧根治(RG)组。首先将放疗定位CT图像传输至rtStation软件,使用该软件自动勾画各病例心脏结构,最后将勾画好的结构文件导入Eclipse治疗计划系统。计算两种勾画方法的体积差异( $\Delta V\%$ )、位置差异(DC)和形状一致性(DSC)数据,评估该软件自动勾画心脏结构的准确性。**结果:**40例测试结果 $\Delta V\%$ 、DC和DSC分别为 $(3.49\pm 10.30)\%$ 、 $(0.48\pm 0.30)$  cm、 $0.89\pm 0.04$ 。4组的DSC值分别为 $0.88\pm 0.03$ (LB)、 $0.89\pm 0.03$ (RB)、 $0.88\pm 0.05$ (LG)、 $0.89\pm 0.04$ (RG)。4个组合组的DSC值分别为 $0.89\pm 0.03$ (LB+RB)、 $0.88\pm 0.04$ (LG+RG)、 $0.88\pm 0.04$ (LB+LG)、 $0.89\pm 0.03$ (RB+RG)。统计学分析结果显示, LB、RB、LG、RG 4组的 $\Delta V\%$ 、DC、DSC值没有统计学差异( $P>0.05$ ), LB+RB和LG+RG两组的 $\Delta V\%$ 、DC、DSC值没有统计学差异( $P>0.05$ ), LB+LG和RB+RG两组的 $\Delta V\%$ 、DC、DSC值没有统计学差异( $P>0.05$ )。**结论:**对于不同类型的乳腺癌术后患者,使用rtStation软件自动勾画心脏结构,均可以达到较为准确的效果,且不同类型之间的结果没有统计学差异。

**【关键词】**乳腺癌;rtStation;自动勾画;深度学习;心脏

**【中图分类号】**R312;R811

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2021)06-0661-05

## Application analysis of deep learning-based rtStation software in automatic delineation of the heart in patients after surgery for breast cancer

SHI Feiyue<sup>1,2</sup>, WANG Min<sup>1</sup>, ZHAO Ziting<sup>3</sup>, QIN Wei<sup>1</sup>, ZHAO Huanyu<sup>1</sup>, WEI Xiaowei<sup>1</sup>

1. Radiation Therapy Center, Nanjing First Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210006, China; 2. Research Center of Medical Physics, Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China; 3. Department of Medical Equipment, Nanjing First Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210006, China

**Abstract: Objective** To test and evaluate the accuracy of rtStation software based on deep learning for automatic delineation of the heart in patients after surgery for breast cancer. **Methods** Forty patients after surgery for breast cancer were enrolled in the study, and then divided into 4 groups, namely left breast conserving surgery (LB) group, right breast conserving surgery (RB) group, left radical mastectomy (LG) group and right radical mastectomy (RG) group. After that the CT images for localization were transferred to rtStation software, the heart was automatically delineated by rtStation software for each patient, and the obtained structure files were transferred back to Eclipse treatment planning system. The volume difference ( $\Delta V\%$ ), deviation of centroid (DC) and Dice similarity coefficient (DSC) between automatic delineation and manual delineation were calculated for evaluating the accuracy of automatic heart delineation using rtStation software. **Results** The  $\Delta V\%$ , DC and DSC of the 40 patients were  $(3.49\pm 10.30)\%$ ,  $(0.48\pm 0.30)$  cm and  $0.89\pm 0.04$  respectively. The DSC of the 4 groups were  $0.88\pm 0.03$  (LB),  $0.89\pm 0.03$  (RB),  $0.88\pm 0.05$  (LG) and  $0.89\pm 0.04$  (RG), respectively; and that of 4 combination groups were  $0.89\pm 0.03$  (LB+RB),  $0.88\pm 0.04$  (LG+RG),  $0.88\pm 0.04$  (LB+LG) and  $0.89\pm 0.03$  (RB+RG), respectively. The statistical analysis results showed that no statistical difference was found in  $\Delta V\%$ , DC and DSC among LB, RB, LG and RG

**【收稿日期】**2021-03-15

**【基金项目】**国家自然科学基金(81773240);江苏省自然科学基金(BK20181118)

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

**【通信作者】**魏晓为,副主任医师,研究方向:肿瘤放疗增敏,E-mail: gswxw@126.com

groups ( $P>0.05$ ), between LB+RB group and LG+RG group ( $P>0.05$ ), and between LB+LG group and RB+RG group ( $P>0.05$ ). **Conclusion** For postoperative patients with different types of breast cancer, using rtStation software to automatically delineate the heart can achieve accurate delineation results, and there is no statistical difference in delineation accuracy among different groups.

**Keywords:** breast cancer; rtStation; automatic delineation; deep learning; heart

## 前言

据统计,乳腺癌占有女性癌症的15%,发病率居于女性恶性肿瘤的首位,且是30~59岁年龄段首要致死癌症类型<sup>[1-2]</sup>。治疗方式主要分为保乳和根治。乳腺癌保乳术后放疗的方法,可有效提高患者生活质量,兼顾生存率与乳房美观,在我国该方法的应用比例逐渐增加<sup>[3]</sup>。乳腺癌改良根治术,是我国目前乳腺癌治疗的主要术式,放射治疗是预防乳腺癌术后局部复发的最有效手段<sup>[4]</sup>。在物理师设计乳腺癌术后放疗计划前,放疗医师需要准确勾画左肺、右肺、脊髓、心脏等危及器官。心脏作为危及器官之一,其结构的准确勾画对乳腺癌术后放疗患者的精确计划设计和剂量评估有重要意义。但放疗医师逐层手工勾画心脏结构等危及器官,会花费许多宝贵的时间,相应减少了靶区勾画等更重要工作的时间。近年来,多款基于人工智能技术的商用自动轮廓勾画软件(或软件模块)在放疗领域得到了应用<sup>[5-9]</sup>,这在很大程度上提高了放疗医师的勾画工作效率。上海大图医疗科技有限公司的rtStation软件是其中之一。目前国内对rtStation软件自动勾画危及器官效果的报道较少<sup>[10]</sup>。本研究选取不同类型乳腺癌术后患者,使用rtStation软件自动勾画心脏结构,对自动勾画的效果进行分析,为放疗工作人员应用该软件提供有益的数据参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 软件

本研究使用上海大图医疗科技有限公司(简称大图医疗)的rtStation(版本1.4.0)。该软件是一款基于深度学习的放疗软件,可为放疗工作人员提供自动勾画、配准融合及剂量评估等工具,可自动勾画头、颈、胸、腹和盆腔等多部位的危及器官。

rtStation软件自动勾画危及器官结构,使用的分割算法为nnU-Net,该算法会根据特定数据集和硬件环境,按照启发式的规则,计算得到最佳的网络配置,并且自动调整训练和推理过程以适应不同的分割任务。nnU-Net首先会提取数据集的指纹信息,接着按照启发式的规则,得到相应的推理参数,最后根据这一系管道指纹,自动化设计深度学习方案。关于心脏结构勾画的训练,训练数据为脱敏的胸部肿瘤患者数据,共172组,其中138组用于训练,34组用测试。

### 1.2 病例选择

选取南京医科大学附属南京医院(南京市第一医院)收治的乳腺癌术后患者40例,收治时间为2017年11月~2019年6月。患者平均年龄52岁,中位年龄为52岁,年龄范围28~77岁。对40例患者进行编号。40例患者分为左侧保乳组(LB组)、右侧保乳组(RB组)、左侧根治组(LG组)和右侧根治组(RG组),每组10人。CT定位扫描使用的是西门子SOMATOM Sensation Open CT模拟机,CT重建的层厚为5 mm,层间距为5 mm。扫描结束后,将定位CT图像传输至瓦里安Eclipse治疗计划系统。

### 1.3 心脏结构勾画

在放疗日常工作中,放疗工作人员使用Eclipse治疗计划系统的勾画工具,在CT图像中手工勾画乳腺癌患者的心脏结构。

在本研究中,首先将40例患者的定位CT图像从Eclipse传输至rtStation,应用rtStation软件的自动勾画工具,对每例患者选择仅勾画心脏结构。自动勾画完成后,将含有自动勾画结构的dicom文件导出并传输至Eclipse。

### 1.4 评价参数

以手工勾画结构为参考数据,以自动勾画结构为测试数据,计算两种勾画结构之间的体积差异、位置差异和形状一致性,从而评价软件自动勾画的效果。体积差异 $\Delta V\%$ 、位置差异DC(质心偏差)及形状相似性指数(Dice Similarity Coefficient, DSC)的定义公式分别如下:

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

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

$$DSC = \frac{2|V_{\text{auto}} \cap V_{\text{manu}}|}{V_{\text{auto}} + V_{\text{manu}}} \quad (3)$$

其中, $V_{\text{auto}}$ 代表自动勾画的结构体积, $V_{\text{manu}}$ 代表手工勾画的结构体积; $\Delta x = |x_{\text{auto}} - x_{\text{manu}}|$ , $\Delta y = |y_{\text{auto}} - y_{\text{manu}}|$ , $\Delta z = |z_{\text{auto}} - z_{\text{manu}}|$ , $x_{\text{auto}}$ 、 $y_{\text{auto}}$ 和 $z_{\text{auto}}$ 分别代表自动勾画结构在3个方向的几何中心坐标, $x_{\text{manu}}$ 、 $y_{\text{manu}}$ 和 $z_{\text{manu}}$ 分别代表手工勾画结构在3个方向的几何中心坐标。根据公式,DSC的取值范围为0~1,值越大表示两个结构的形状越接近。一般认为,两个结构轮廓重合较好的DSC值应大于0.7<sup>[11]</sup>。

1.5 统计学方法

使用SPSS 23.0软件对数据进行分析。统计每一组相关参数的最大值、最小值、均值±标准差；对LB、RB、LG和RG 4组的3个参数( $\Delta V\%$ 、DC和DSC)进行单因素方差分析,并采用LSD- $t$ 检验进行组间两两比较；使用独立样本 $t$ 检验,对保乳组(LB+RB)和根治组(LG+RG)进行比较,对左侧组(LB+LG)和右侧

组(RB+RG)进行比较, $P<0.05$ 为结果有统计学差异。

2 结果

对于选取的40例乳腺癌患者,rtStation软件自动勾画和手工勾画心脏结构的 $\Delta V\%$ 、DC及DSC值,使用统计学的箱式图进行统计,见图1。

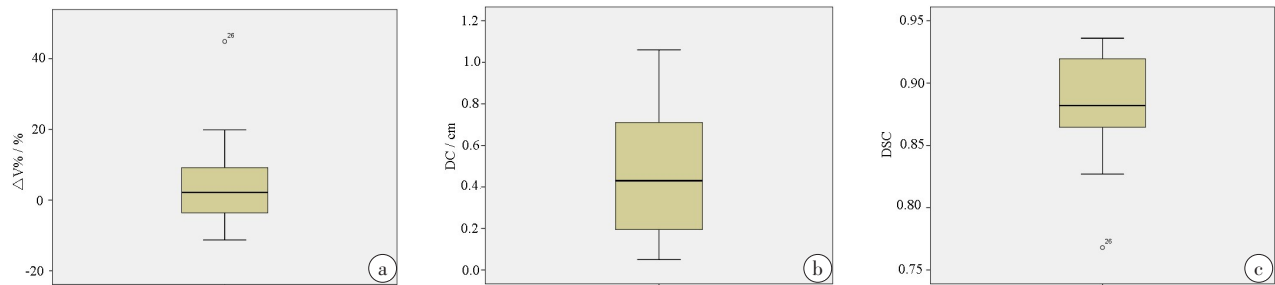


图1 40例乳腺癌患者心脏结构的 $\Delta V\%$ (a)、DC(b)和DSC(c)值的数据箱式图  
Fig.1 Box plots of volume difference ( $\Delta V\%$ ) (a), deviation of centroid (DC) (b) and Dice similarity coefficient (DSC) (c) of the heart in 40 patients with breast cancer

由统计数据可得,自动勾画心脏结构最差和最好的数据分别是26号和31号患者。图2和图3分别

列出这两位患者心脏结构的勾画截图。

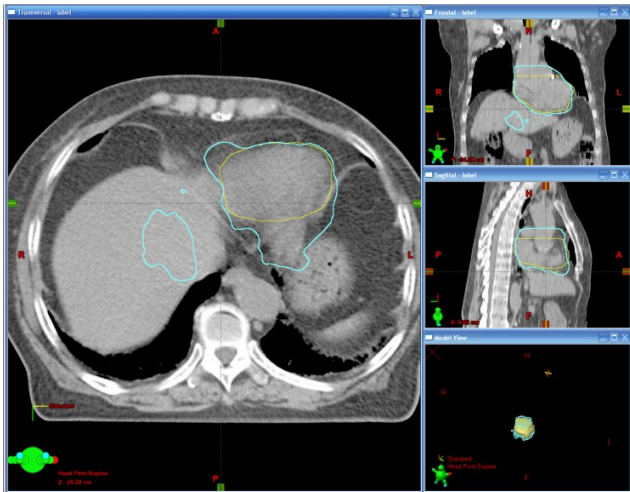


图2 26号患者的勾画截图(浅蓝色线:自动勾画;黄色线:手动勾画)  
Fig.2 Delineation results of No.26 patient (cyan line: automatic delineation; yellow line: manual delineation )

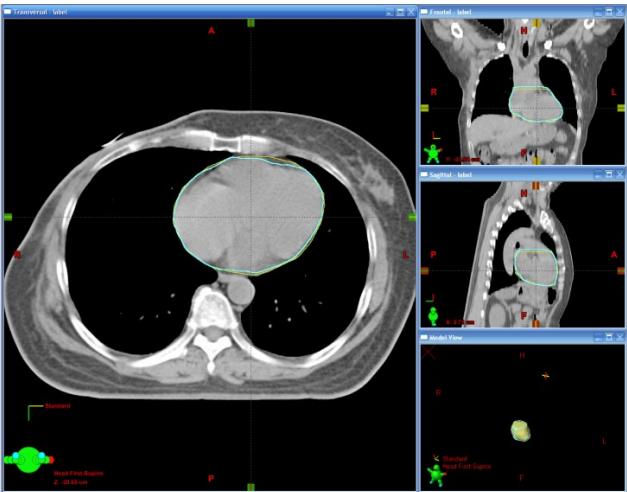


图3 31号患者的勾画截图(浅蓝色线:自动勾画;黄色线:手动勾画)  
Fig.3 Delineation results of No.31 patient (cyan line: automatic delineation; yellow line: manual delineation )

对体积差异、位置差异和形状一致性的数据进行比较分析。对LB组、RB组、LG组和RG组4组,以及LB+RB、LG+RG、LB+LG、RB+RG 4个组合组,以及40例患者总体数据(SUM40组)进行统计分析,得到最大值、最小值、均值±标准差。统计结果见表1、表2和表3。  
对LB、RB、LG和RG 4组 $\Delta V\%$ 进行单因素方差分析,并采用LSD- $t$ 检验进行组间两两比较,结果均无统计学差异( $F=0.331, P>0.05$ )。使用独立样本 $t$ 检验,对保乳组(LB+RB)和根治组(LG+RG)进行比较,

结果无统计学差异( $t=-0.410, P>0.05$ )；对左侧组(LB+LG)和右侧组(RB+RG)进行比较,结果无统计学差异( $t=0.271, P>0.05$ )。  
对LB、RB、LG和RG 4组DC进行单因素方差分析,并采用LSD- $t$ 检验进行组间两两比较,结果均无统计学差异( $F=0.109, P>0.05$ )。使用独立样本 $t$ 检验,对保乳组(LB+RB)和根治组(LG+RG)进行比较,结果无统计学差异( $t=-0.214, P>0.05$ )；对左侧组(LB+LG)和右侧组(RB+RG)进行比较,结果无统计



表1 乳腺癌患者心脏结构 $\Delta V\%$ 统计数据(%)  
Tab.1 Statistical data of  $\Delta V\%$  of the heart  
in patients with breast cancer (%)

组别	最大值	最小值	$\bar{x} \pm s$
LB	18.84	-7.09	4.72±8.26
RB	10.29	-11.29	0.92±7.00
LG	44.86	-9.88	3.16±16.24
RG	19.85	-7.83	5.18±8.13
LB+RB	18.84	-11.29	2.82±7.70
LG+RG	44.86	-9.88	4.17±12.54
LB+LG	44.86	-9.88	3.94±12.57
RB+RG	19.85	-11.29	3.05±7.70
SUM40	44.86	-11.29	3.49±10.30

表2 乳腺癌患者心脏结构DC统计数据(cm)  
Tab.2 Statistical data of DC of the heart in  
patients with breast cancer (cm)

组别	最大值	最小值	$\bar{x} \pm s$
LB	1.05	0.20	0.51±0.26
RB	0.91	0.05	0.44±0.30
LG	1.06	0.10	0.51±0.36
RG	0.91	0.11	0.48±0.30
LB+RB	1.05	0.05	0.47±0.27
LG+RG	1.06	0.10	0.49±0.32
LB+LG	1.06	0.10	0.51±0.31
RB+RG	0.91	0.05	0.46±0.29
SUM40	1.06	0.05	0.48±0.30

表3 乳腺癌患者心脏结构DSC统计数据  
Tab.3 Statistical data of DSC of the heart in  
patients with breast cancer

组别	最大值	最小值	$\bar{x} \pm s$
LB	0.92	0.83	0.88±0.03
RB	0.93	0.86	0.89±0.03
LG	0.94	0.77	0.88±0.05
RG	0.93	0.84	0.89±0.04
LB+RB	0.93	0.83	0.89±0.03
LG+RG	0.94	0.77	0.88±0.04
LB+LG	0.94	0.77	0.88±0.04
RB+RG	0.93	0.84	0.89±0.03
SUM40	0.94	0.77	0.89±0.04

学差异( $t=0.517, P>0.05$ )。

对LB、RB、LG和RG 4组DSC值进行单因素方差分析,并采用LSD- $t$ 检验进行组间两两比较,结果均无统计学差异( $F=0.323, P>0.05$ )。使用独立样本 $t$ 检验,对保乳组(LB+RB)和根治组(LG+RG)进行比较,结果无统计学差异( $t=0.383, P>0.05$ );对左侧组(LB+LG)和右侧组(RB+RG)进行比较,结果无统计学差异( $t=-0.836, P>0.05$ )。

对软件自动勾画和手工勾画心脏结构所用的时间进行统计,并对两者的平均值进行比较。本部门放疗工作人员手工勾画心脏结构的平均时间约为284 s,大图医疗rtStation软件自动勾画心脏结构的平均时间约为58 s。

3 讨论

在乳腺癌根治术基础上发展起来的改良根治术,是我国目前乳腺癌治疗的主要术式。随着乳腺癌综合治疗水平的提高和患者对改善自身生活质量要求的提高,在我国乳房保留手术(保乳术)的比例逐渐增加。放射治疗是预防乳腺癌术后局部复发的最有效手段,是乳腺癌综合治疗的重要组成部分。

对于胸部肿瘤放疗患者,心脏是需要严格保护的危及器官,只有准确勾画心脏结构,才能实现心脏的有效保护。乳腺癌患者(尤其是左侧乳腺癌患者),对心脏的剂量限值有较高要求<sup>[11]</sup>。因此,对于乳腺癌放疗患者,需要精确勾画心脏结构,并在放疗计划设计时对心脏进行保护。人工智能(AI)技术的发展推动了自动轮廓勾画在放疗领域的应用。近年来,市场上出现了许多商用放疗自动勾画软件(或软件模块),主要分为基于图谱库和基于深度学习两种,前者包括ABAS<sup>[5, 12-13]</sup>、MIM<sup>[6, 14-15]</sup>、OnQ<sup>[7]</sup>、Raysation<sup>[8]</sup>,后者包括RAIC·OIS<sup>[9]</sup>(北京连心)、

DeepViewer<sup>[16-17]</sup>(安徽慧软)、rtStation<sup>[10]</sup>(上海大图)和AccuContour(厦门MANTEIA)等<sup>[18-19]</sup>。使用上述自动勾画软件,可以有效缩短危及器官的勾画时间,并且减少不同勾画者手工勾画的主观差异。

由图1a和表1的统计数据可见,各组 $\Delta V\%$ 的均值都大于0,表明自动勾画的心脏体积较手工勾画普遍偏大;由图1b和表2中DC的统计数据可见,各组位置差异数据相差不大;由图1c和表3中DSC的统计数据可见,各组、各组合组及总体数据的DSC平均值达到0.88或0.89,表明该软件自动勾画心脏结构的轮廓形状普遍较好。一般DSC值超过0.7即可认为勾画效果较佳,有临床应用意义。统计学分析结果显示,对于 $\Delta V\%$ 、DC、DSC值3种参数,LB、RB、LG、RG 4组之间没有统计学差异,LB+RB和LG+RG两组之间没有统计学差异,LB+LG和RB+RG两组之间没有统计学差异。由勾画时间数据的比较可见,与手工勾画相比,使用rtStation软件进行心脏结构的自动勾画,可节约80%的时间,从而有效提高放疗工作效率。本部门前期使用RAIC·OIS(版本2.0.16)自动勾画了食管癌患者的心脏结构, $\Delta V\%$ 、DC和DSC的平均值分别为-17.08%、0.31 cm和0.87<sup>[9]</sup>。本部门前期使用安徽慧软DeepViewer(版本1.0)软件,对左侧乳腺癌患者的心脏结构进行了自动勾画, $\Delta V\%$ 、DC和DSC的平均值分别为-21.43%、0.37 cm和0.84<sup>[16]</sup>。汪志等<sup>[17]</sup>使用DeepViewer对58例患者进行心脏结构的自动勾画,DSC的平均值为0.876。本研究中,rtStation软件的相关数据分别为3.49%、0.48 cm和0.89。3种软件数据的比较可见,除了位置差异值外,对于体积差异和形状相似性,rtStation的自动勾画效果优于其他两款软件。图2所示为软件自动勾画结果最差的26号患者的截图。由图2可见,自动勾画的心脏体积明显大于手工勾画,甚至还有部

分自动勾画结构在肝脏中。原因可能是rtStation软件在进行深度学习训练时,训练集中包含了多种胸部肿瘤患者(不仅仅只是乳腺癌患者)的CT图像和心脏手工勾画结构,但是这些训练集数据与该患者的CT图像差异较大。图3所示为软件自动勾画结果最好的31号患者的截图,该患者的CT图像应该与训练集数据差异较小。需要注意的是,随着技术的发展进步,每款自动勾画软件都在不断优化和进步中,上述讨论仅适用于文献报道及本研究中所使用版本的自动勾画软件。

综上所述,对于不同类型(左侧和右侧、保乳和根治)的乳腺癌术后患者,大图医疗的rtStation软件对心脏结构的勾画都能够达到满意的效果;对于体积差异、位置差异和形状相似性,不同类型患者的自动勾画结果没有统计学差异。使用该自动勾画软件可明显缩短心脏结构的勾画时间,有效提高放疗勾画工作效率。期待随着基于人工智能的自动勾画软件的不断优化和升级,肿瘤放疗患者能够得到更快、更精确的治疗!

致谢:衷心感谢大图医疗石峰和王文化在rtStation软件使用中提供的帮助和支持!

## 【参考文献】

- [1] CHEN W Q, ZHENG R S, BAADE P D, et al. Cancer statistics in China, 2015[J]. CA Cancer J Clin, 2016, 66(2): 115-132.
- [2] 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.
- [3] 李建彬, 于金明, 徐敏. 乳腺癌保乳术后放疗进展[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2010, 19(2): 170-175.  
LI J B, YU J M, XU M. Progress of radiotherapy after breast conserving surgery for breast cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2010, 19(2): 170-175.
- [4] 翟医蓓, 王淑莲, 唐玉, 等. 乳腺癌改良根治术后常规放疗剂量学分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(9): 696-700.  
ZHAI Y R, WANG S L, TANG Y, et al. Dosimetric Evaluation of Conventional Two-dimensional Radiotherapy after Modified Mastectomy for Breast Cancer Patients[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(9): 696-700.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 时飞跃, 王敏, 秦伟, 等. 智能放疗云平台自动勾画食管癌患者心脏结构的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(12): 1377-1382.  
SHI F Y, WANG M, QIN W, et al. Application of RAIC.OIS in automatic segmentation of the heart in patients with esophageal cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(12): 1377-1382.
- [10] 王敏, 秦伟, 时飞跃, 等. 智能放疗云平台自动勾画宫颈癌患者膀胱结构的应用研究[J]. 中国数字医学, 2020, 15(7): 85-88.  
WANG M, QIN W, SHI F Y, et al. Research on the application of automatic contouring of the bladder structure of patients with cervical cancer by the intelligent radiotherapy cloud platform[J]. China Digital Medicine, 2020, 15(7): 85-88.
- [11] 林金勇, 胡彩容, 张秀春, 等. TomoDirect和TomoHelical技术在左侧乳腺癌保乳术后放疗中的剂量学比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2017, 37(3): 216-221.  
LIN J Y, HU C R, ZHANG X C, et al. Dosimetric comparison of TomoDirect and TomoHelical modalities in tomotherapy system for left-breast cancer radiotherapy after breast-conserving surgery[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2017, 37(3): 216-221.
- [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 radiationtherapy 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] 胡晓伟, 孙新臣, 李金凯, 等. 自动勾画轮廓软件在头颈部锥形束CT中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(3): 254-258.  
HU X W, SUN X C, LI J K, et al. Application of automatic segmentation software in head and neck cone beam CT[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(3): 254-258.
- [15] 孙宇晨, 张晚智, 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.
- [16] 时飞跃, 王敏, 秦伟, 等. DeepViewer软件自动勾画乳腺癌保乳术后患者心脏结构的应用[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(4): 48-51.  
SHI F Y, WANG M, QIN W, et al. Application of DeepViewer in automatic delineation of heart structure for patients with breast cancer after breast-conserving surgery[J]. China Medical Devices, 2020, 35(4): 48-51.
- [17] 汪志, 常艳奎, 吴昊天, 等. 基于深度学习的危及器官自动勾画软件系统DeepViewer在放疗中的应用及评估[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(8): 1071-1075.  
WANG Z, CHANG Y K, WU H T, et al. Application and evaluation of deep learning-based DeepViewer system for automatic segmentation of organs-at-risk[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2020, 37(8): 1071-1075.
- [18] 李华玲, 王沛沛, 李金凯, 等. 体积对自动勾画软件勾画危及器官准确性的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(7): 797-802.  
LI H L, WANG P P, LI J K, et al. Effect of volume on the accuracy of organs-at-risk segmentation by automatic segmentation software[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2020, 37(7): 797-802.
- [19] 王沛沛, 李金凯, 李彩虹, 等. 基于人工智能技术的危及器官自动勾画在胸部肿瘤中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(11): 1346-1349.  
WANG P P, LI J K, LI C H, et al. Application of automatic organs-at-risk segmentation based on artificial intelligence technology in thoracic tumors[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(11): 1346-1349.

(编辑:薛泽玲)