

# 三种自动勾画软件应用于中上腹部危及器官勾画的准确性研究

李桢, 洪文松, 胡丽彩

广东省第二人民医院 放疗科, 广东 广州 510317

**[摘要]** 目的 比较三种自动勾画软件 (Pinnacle 9.10、LinkingMed和Manteia) 勾画上腹部危及器官 (OAR) 的准确性。方法 选取了26例上腹部肿瘤患者, 由一名资深的临床医师手动勾画OAR (肝脏、脊髓、双肾、胰腺和胃), 并采用三种软件对其进行自动勾画。以手动勾画为金标准, 计算并比较三种自动勾画结果的质心偏差 (Center of Mass Deviation, DC)、Dice相似性系数 (Dice Similarity Coefficient, DSC)、Hausdorff距离 (Hausdorff Distance, HD)、包容性指数 (Inclusive Index, Incl) 和敏感性指数 (Sensitivity Index, SI)。采用单因素方差分析评价各项指标的统计学差异, 同时比较了三种软件勾画结果的准确性。结果 肝、双肾和脊髓的DC、DSC、HD、Incl和SI, LinkingMed和Manteia组与Pinnacle组有统计学差异 ( $P<0.05$ ), inkingMed和Manteia组的勾画效果优于Pinnacle组。对于胃和胰腺的结果, Manteia组优于Linkingmed组, 除了Incl, 均有统计学差异。结论 对于肝、肾和脊髓, 这三种软件均有较好的勾画效果, LinkingMed和Manteia的勾画效果更优于Pinnacle软件。对于胃和胰腺, Manteia的勾画效果优于LinkingMed。

**[关键词]** 上腹部危及器官; 自动勾画; 定量分析

## Study on the Accuracy of Three Automatic Delineation Softwares for the Delineation of Organs at Risk in Abdomen

LI Zhen, HONG Wensong, HU Licai

Department of Radiotherapy, Guangdong Second Provincial General Hospital, Guangzhou Guangdong 510317, China

**Abstract:** Objective To compare the accuracy of three kinds of automatic delineation software (Pinnacle 9.10, Linkingmed and Manteia) in delineating upper abdominal organs at risks (OARs). Methods The OARs (liver, spinal cord, kidneys, pancreas and stomach) was manually drawn by a senior clinician in 26 patients with upper abdominal tumors, and three kinds of software were used to automatically draw the OARs. By the standard of the manual delineation, the index of center of mass deviation (DC), dice similarity coefficient (DSC), Hausdorff distance (HD), inclusive index (Incl) and sensitivity index (SI) were compared for three kinds of segmentation results. One-way analysis of variance was used to evaluate the statistical difference of each index, and the accuracy of the three software was compared. Results There were significant differences in DC, DSC, HD, Incl and SI of the liver, kidneys and spinal cord between the Lingkingmed and Manteia, groups with the pinnacle group ( $P<0.05$ ). The automatic delineation results in Lingkingmed and Manteia were both better than those in Pinnacle. For the results of stomach and pancreas, Manteia group was better than Lingkingmed group, there were significantly differences ( $P<0.05$ ) in Lingkingmed and Manteia, except for Incl. Conclusion All three softwares of auto-segmentation can satisfactorily contour the liver, kidneys and spinal cord. The performance in Lingkingmed and Manteia was better than Pinnacle, and Manteia was better than Lingkingmed in the delineation of stomach and pancreas.

**Key words:** organs at risk in abdomen; automatic contouring; quantitative analysis

[中图分类号] R811.1

[文献标识码] A

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2021.03.014

[文章编号] 1674-1633(2021)03-0066-05

## 引言

随着科学技术的发展, 调强放疗技术被越来越广泛地应用在临床肿瘤的治疗中, 其高度的靶区适形度和陡峭的剂量梯度大大地提高了肿瘤治疗的增益比<sup>[1-2]</sup>。因此在放疗计划设计阶段就要求临床医师精确定义和勾画靶区与危及

器官 (Organs at Risk, OAR)。传统的手工勾画 OAR 不仅费时费力, 而且重复性差, 此外患者在经过一段时间放疗后, 身体的解剖结构会发生变化, 肿瘤缩小, 则需要重新定位并制订放疗计划<sup>[3-5]</sup>, 而繁琐重复的 OAR 勾画无疑大幅降低放疗计划制定的效率, 也给临床医师造成负担。目前国内有基于图谱库和形变配准融合自动勾画软件应用于头颈部肿瘤<sup>[6-9]</sup>、胸部肿瘤<sup>[10-14]</sup>和下腹部肿瘤<sup>[15-20]</sup>的 OAR 自动勾画临床可行性研究, 较少检索到关于中上腹部的危及

收稿日期: 2020-04-26

通信作者: 洪文松, 高级工程师, 主要研究方向为放射治疗计划设计及物理质量保证与临床应用工作。

通信作者邮箱: hongws@163.com

器官自动勾画的临床研究,以及基于深度学习卷积神经网络算法的软件在临床上准确性应用的研究。

因此本文研究三款自动勾画软件 pinnacle、LinkingMed 和 Manteia 对于中上腹部危及器官勾画的准确性,以及比较这三者自动勾画与手工勾画间的几何精度差异并探讨在中上腹部肿瘤中自动勾画方式应用于临床的可行性分析。

## 1 材料与方法

### 1.1 自动勾画工具

Pinnacle 9.10 是飞利浦公司的治疗计划系统,其中内置有自动勾画模块 SPICE (Smart Probabilistic Image Contouring Engine),该模块是通过匹配图谱库的模板进行概率形变配准得到的自动轮廓。LinkingMed 和 Manteia 是由国内的公司开发的两款自动勾画软件,它们都是基于深度学习卷积神经网络算法,通过对大量医生所标注的勾画数据进行训练学习,不断地调整卷积核和权重等参数所建立的算法模型。

### 1.2 病例选择

选择 2019 年 9 月至 2020 年 3 月在广东省第二人民医院接受放疗的中上腹部肿瘤患者 26 例,其中肝癌(I~II 期)15 例,结肠癌 7 例,腰椎转移瘤 4 例。行仰卧位,以热塑体膜固定,在西门子大孔径螺旋 CT (Somatom Sensation Open) 下,以 3 mm 的层厚层距扫描并重建 CT 图像。扫描得到的 CT 图像数据传送至 Pinnacle9.10 放疗计划系统、LinkingMed 和 Manteia 自动勾画系统。

### 1.3 OAR 勾画

由 1 名有经验的放疗医师在 Pinnacle9.10 计划系统上手勾画 OAR,并要求上级主任医师审核和修改。OAR 包括:肝、脊髓、双肾、胰腺和胃,并定义为参考勾画 Vref。Pinnacle9.10 计划系统的自动勾画的 OAR 为肝、脊髓和双肾,定义为 VP; LinkingMed 和 Manteia 自动勾画的 OAR 与手工的一样,分别定义为 VL 和 VM,勾画完毕即导入放疗计划系统,再传入 LinkingMed 进行比较评估。

### 1.4 评价指标

以手工勾画为金标准,分别计算这三种自动勾画结果的质心偏差 (Center of Mass Deviation, DC)、Dice 相似性系数 (Dice Similarity Coefficient, DSC)、Hausdorff 距离 (Hausdorff Distance, HD)、包容性指数 (Inclusive Index, IncI) 和敏感性指数 (Sensitivity Index, SI) [15], 下列公式中下标为 ref 的为手动勾画参考值, auto 的为自动勾画值。DC、DSC 计算公式见公式 (1)~(2):

$$DC = \sqrt{(x_{auto} - x_{ref})^2 + (y_{auto} - y_{ref})^2 + (z_{auto} - z_{ref})^2} \quad (1)$$

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

用于比较有限样本集之间的相似性与差异性, DSC 值越大, 样本相似度越高。HD 计算, 见公式 (3):

$$H(ref, auto) = \max(h(ref, auto), h(auto, ref)) \quad (3)$$

其中,  $h(ref, auto) = \max(ref, ref) \min \in (auto_i \in auto) | ref - auto_i |$

$$h(auto, ref) = \max(auto_i \in auto) \min (ref_j \in ref) | auto_i - ref_j |$$

用于表示某一集合中离另一集合最近点的所有距离的最大值。

IncI 和 SI 的计算, 见公式 (4)~(5):

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

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

### 1.5 统计学处理

建立 Excel 数据库, 应用 SPSS 19 软件进行数据分析。采用单因素方差法检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。数据以均值  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 的形式表现。

## 2 结果

### 2.1 勾画时间的比较

Linkingmed 和 Manteia 的勾画时间是从图像导入自动勾画系统开始计时至勾画结束, 约为 40 s。Pinnacle 系统勾画的时间从点击 Auto-segmentation 自动勾画开始至勾画结束, 约为 5 min, 医生人工勾画的时间约为 30 min。

### 2.2 三组自动勾画结果的 DC 比较

不同组勾画结果的 DC 比较如图 1 所示, 统计学差异如表 1 所示。三组勾画的肝、肾和脊髓的 DC 值  $< 10$  mm, 其中右肾和脊髓的 DC  $< 5$  mm。Pinnacle 勾画组的结果偏差比其他两组大。LinkingMed 和 Manteia 勾画组肝、双肾和脊髓的 DC 均值  $< 7$  mm, 而胰腺和胃的 DC 值较大, 其中 LinkingMed 勾画组的结果比 Manteia 勾画组的偏差大。LinkingMed 和 Manteia 勾画组与 Pinnacle 勾画组的结果, 除脊髓外, 均有统计学差异。LinkingMed 勾画组和 Manteia 勾画组胰腺的结果有统计学差异。

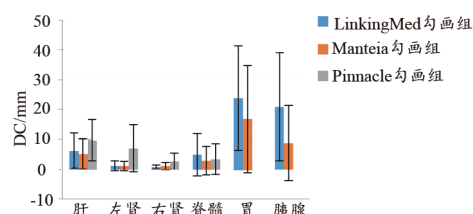


图1 三组自动勾画结果的DC

表1 三种自动勾画危及器官DC的结果 ( $\bar{x} \pm s$ , mm)

参数	V <sub>L</sub>	V <sub>M</sub>	V <sub>P</sub>	P值
肝	6.25 ± 5.92	5.19 ± 5.17	9.80 ± 6.95	△○
左肾	1.12 ± 1.66	1.14 ± 1.59	7.05 ± 7.90	△○
右肾	0.77 ± 0.76	1.11 ± 1.28	2.72 ± 2.72	△○
脊髓	4.93 ± 7.10	2.90 ± 4.73	3.43 ± 5.19	0.432
胃	23.89 ± 17.62	16.88 ± 18.00		0.162
胰腺	21.02 ± 18.22	8.84 ± 12.64		*

注: \*是代表V<sub>L</sub>和V<sub>M</sub>, V<sub>L</sub>和V<sub>P</sub>, V<sub>M</sub>和V<sub>P</sub>之间具有统计学差异。

### 2.3 三种自动勾画结果的DSC比较

不同自动勾画结果的 Dice 系数比较如图 2 所示, 统计学分析如表 2 所示。肝、双肾和脊髓的 DSC 平均值  $> 0.8$ , LinkingMed 和 Manteia 的 DSC 均值  $> 0.9$ 。Manteia 勾画组胃和胰腺的 DSC 均值  $> 0.7$ 。LinkingMed 勾画组与 Pinnacle

勾画组的结果均有统计学差异。Manteia 勾画组与 Pinnacle 勾画组的结果除了肝外, 均有统计学差异。胃和胰腺的勾画结果显示, LinkingMed 和 Manteia 勾画组有统计学差异。

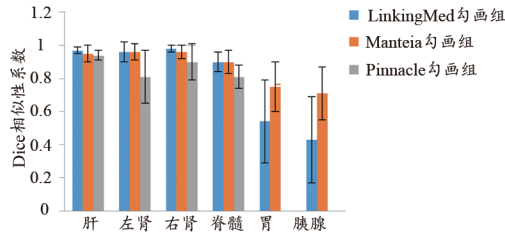


图2 三组自动勾画结果的Dice系数比较

表2 三种自动勾画危及器官DSC比较结果 ( $\bar{x} \pm s$ )

参数	V <sub>L</sub>	V <sub>M</sub>	V <sub>P</sub>	P值
肝	0.97±0.02	0.95±0.05	0.94±0.03	△
左肾	0.96±0.06	0.96±0.05	0.81±0.16	△○
右肾	0.98±0.02	0.96±0.04	0.9±0.11	△○
脊髓	0.90±0.06	0.90±0.07	0.81±0.07	△○
胃	0.54±0.25	0.75±0.15		*
胰腺	0.43±0.26	0.71±0.16		*

注: \*是代表 $V_L$ 和 $V_M$ ,  $V_L$ 和 $V_P$ ,  $V_M$ 和 $V_P$ 之间具有统计学差异。

#### 2.4 三种自动勾画结果的HD比较

不同自动勾画结果的HD比较如图3所示, 统计学分析如表3所示。三组勾画结果的双肾和脊髓的HD均值 $<20$  mm, 肝的HD均值 $<26$  mm, Pinnacle勾画组的结果偏差比其他两组大。LinkingMed勾画组的胃和胰腺的HD均值大于Manteia的勾画结果。统计学分析结果显示, LinkingMed勾画组双肾的结果与Pinnacle勾画组的有统计学差异, LinkingMed勾画组右肾和胰腺的结果与Manteia的结果有统计学差异, Manteia勾画组左肾的结果与Pinnacle勾画组的有统计学差异, 其他指标均无统计学差异。

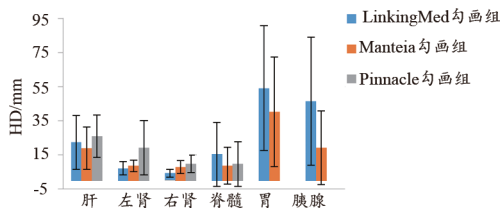


图3 三组自动勾画结果的HD

表3 三种自动勾画危及器官结果的HD ( $\bar{x} \pm s$ , mm)

参数	$V_L$	$V_M$	$V_P$	P值
肝	$22.27 \pm 15.76$	$18.87 \pm 12.55$	$25.95 \pm 12.40$	0.182
左肾	$7.07 \pm 3.90$	$8.46 \pm 3.43$	$19.19 \pm 15.91$	$\Delta \bigcirc$
右肾	$4.14 \pm 2.26$	$7.73 \pm 3.81$	$9.65 \pm 5.07$	* $\Delta$
脊髓	$15.14 \pm 18.77$	$8.54 \pm 10.82$	$9.59 \pm 13.08$	0.222
胃	$54.21 \pm 36.68$	$40.27 \pm 32.11$		0.145
胰腺	$46.44 \pm 37.64$	$19.01 \pm 21.66$		*

注: \*是代表 $V_L$ 和 $V_M$ ,  $V_L$ 和 $V_P$ ,  $V_M$ 和 $V_P$ 之间具有统计学差异。

#### 2.5 三种自动勾画结果的IncI和SI分析比较

不同自动勾画结果的IncI和SI分析比较如图4和图5所示, 统计学分析如表4和表5所示。IncI是指自动勾画与手动勾画所重合的体积与自动勾画体积的比值, SI是指自动勾画与手动勾画所重合的体积与手动勾画体积的比值。

因此当自动勾画与手动勾画结果完全吻合的时候, IncI与SI的值为1, 若两者完全没有重叠的话, 这两个值为0。三组勾画结果的肝、肾和脊髓的IncI均值 $>0.8$ , 其中肝、右肾和脊髓的IncI均值 $>0.9$ 。LinkingMed和Manteia的勾画组IncI均值大于Pinnacle勾画组。LinkingMed勾画组胃和胰腺的IncI均值大于Manteia勾画组, 两者勾画组均值 $>0.7$ 。三组勾画结果的肝、肾和脊髓的SI均值 $>0.87$ , 除了Pinnacle勾画组脊髓IncI均值为0.73。LinkingMed和Manteia的勾画组SI均值大于Pinnacle勾画组。Manteia勾画组胃和胰腺的SI均值 $>0.7$ , 其结果优于LinkingMed勾画组结果。统计学分析结果显示, LinkingMed勾画组和Manteia勾画组的肝和双肾的IncI值与Pinnacle勾画组的有统计学差异, LinkingMed勾画组的右肾IncI值和Manteia的结果也有统计学差异, 其他指标无统计学差异。LinkingMed勾画组肝、双肾和脊髓的SI结果与Pinnacle勾画组的均有统计学差异, Manteia的结果除肝外, 也均与Pinnacle组的有统计学差异, LinkingMed和Manteia的胃和胰腺的SI值也均有统计学差异。

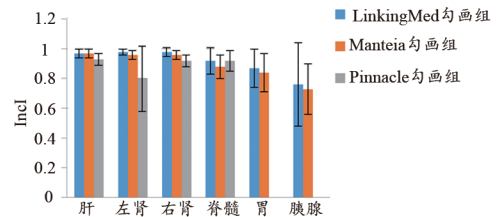


图4 三种自动勾画结果的IncI

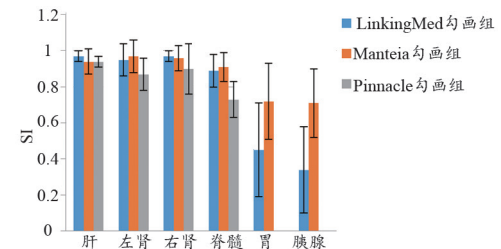


图5 三种自动勾画结果的SI

表4 三种自动勾画危及器官结果的IncI ( $\bar{x} \pm s$ )

参数	$V_L$	$V_M$	$V_P$	P值
肝	$0.97 \pm 0.03$	$0.97 \pm 0.03$	$0.93 \pm 0.04$	$\Delta \bigcirc$
左肾	$0.98 \pm 0.02$	$0.96 \pm 0.03$	$0.80 \pm 0.22$	$\Delta \bigcirc$
右肾	$0.98 \pm 0.03$	$0.96 \pm 0.03$	$0.92 \pm 0.04$	* $\Delta \bigcirc$
脊髓	$0.92 \pm 0.09$	$0.90 \pm 0.08$	$0.92 \pm 0.07$	0.096
胃	$0.87 \pm 0.13$	$0.84 \pm 0.13$		0.453
胰腺	$0.76 \pm 0.28$	$0.73 \pm 0.17$		0.691

注: \*是代表 $V_L$ 和 $V_M$ ,  $V_L$ 和 $V_P$ ,  $V_M$ 和 $V_P$ 之间具有统计学差异。

表5 三种自动勾画危及器官结果的SI指数 ( $\bar{x} \pm s$ )

参数	$V_L$	$V_M$	$V_P$	P值
肝	$0.97 \pm 0.03$	$0.94 \pm 0.07$	$0.94 \pm 0.03$	$\Delta$
左肾	$0.95 \pm 0.09$	$0.97 \pm 0.09$	$0.87 \pm 0.09$	$\Delta \bigcirc$
右肾	$0.97 \pm 0.03$	$0.96 \pm 0.07$	$0.90 \pm 0.14$	$\Delta \bigcirc$
脊髓	$0.89 \pm 0.09$	$0.91 \pm 0.08$	$0.73 \pm 0.10$	$\Delta \bigcirc$
胃	$0.45 \pm 0.26$	$0.72 \pm 0.21$		*
胰腺	$0.34 \pm 0.24$	$0.71 \pm 0.19$		*

注: \*是代表 $V_L$ 和 $V_M$ ,  $V_L$ 和 $V_P$ ,  $V_M$ 和 $V_P$ 之间具有统计学差异。



### 3 讨论

随着自动勾画危及器官软件越来越多地应用于临床,国内外有诸多关于自动勾画软件应用于头颈部、胸部和盆腔的研究,而对于中上腹部危及器官自动勾画的研究较少,中上腹部的危及器官主要有形状变异小、边界清晰的大体积器官如肝脏、双肾和脊髓等,以及形状变异大、组织对比度欠佳的结构如胃和胰腺等。对于肝脏、肾脏和脊髓这样边界清晰的大结构,本案中的三种自动勾画软件均有较好的勾画效果,其 DSC 均值都大于 0.8,这个结论与 Wittenstein 等<sup>[21]</sup>在骨转移瘤的危及器官勾画的结果近似。LinkingMed 和 Manteia 所勾画的这三种结构的 DSC 均值大于 Pinnacle 组的结果,而标准误差更小,可以认为 LinkingMed 和 Manteia 勾画的更稳定和准确。DC 和 HD 越小,则与手工勾画的结果差异越小,IncI 和 SI 越接近 1,则自动勾画和手动勾画的结果就越吻合。根据对 DC、DSC、HD、IncI 和 SI 的各个数值的比较可以看出,LinkingMed 和 Manteia 对于肝、双肾和脊髓的勾画效果略优于 Pinnacle 的勾画效果。在本案的研究中,Pinnacle 组左肾的各项指标与 LinkingMed 和 Manteia 组的差别比右肾的大,是因为 Pinnacle 的 SPICE 是基于概率分割图像,在相邻结构之间的对比度很小的情况下很难识别他们之间的边缘以产生可接受的轮廓,因此在部分病例中 pinnacle 自动勾画左肾时将部分的脾脏也算入了左肾的轮廓中,导致了左肾的各项指标偏差增大。由于 SPICE 是基于自身图谱库的概率分割图像,因此只有有限的器官模板可以选择自动勾画,且不能像 ABAS 那样建立各种图谱库。神经网络卷积算法是通过对海量的轮廓进行深度学习,训练得到更合适的权重使得该模型算法对于各个器官的识别和勾画更加准确,而且可以训练和勾画各种想要的器官,因此本案研究中 LinkingMed 和 Manteia 组比 Pinnacle 组的结果更加优。对于形状变异大、组织对比度欠佳的结构如胃和胰腺,王琳婧等<sup>[15]</sup>和王金媛等<sup>[16]</sup>在研究中提到,这样的结构,自动勾画软件所勾画的基本难以满足临床需要(如直肠的 DSC 值约为 0.5),这个结论与 LinkingMed 勾画结论相符,Manteia 勾画这两者结构的 DSC 均值 >0.7,与手工勾画的重合度较好。从 DC、HD、IncI 和 SI 的各个数值的比较来看,Manteia 的结果更优,这是因为在神经卷积网络算法中,不同的卷积核、训练权重和训练集等都导致模型算法的不同,并造成不同的识别和勾画结果,Manteia 对于这种形变较大,充盈程度无法控制及组织对比度欠佳的结构识别勾画的功能更强大一些。

综上所述,在上腹部危及器官的自动勾画中,这三种软件对肝脏、双肾和脊髓均有着较好的勾画效果,而 Manteia 对于胰腺和胃的勾画也基本符合临床需要,但考虑到临床剂量评估的准确性,应当在自动勾画的基础上适当进行手工修改。由于本研究中所采用的 Pinnacle9.10 是 2014 年版本的软件,而版本的更迭可能会对算法和勾画效果会产生一定的影响,LinkingMed 和 Manteia 两款软件也

还在临床试验阶段,算法还在不断的优化改进中,因此本研究的结果仅限于当前所使用软件和版本。

#### [参考文献]

- [1] Briere TM, Anderson P, Huh WW, et al. Comparison of VMAT and IMRT for whole abdomen radiation therapy[J]. *Med Phys*, 2014, 41(6):358.
- [2] Kang Y, Kim DH, Jang HS, et al. Dosimetric comparison of helical tomotherapy and linac-based IMRT in whole abdomen radiotherapy[J]. *J Korean Phys Soc*, 2012, 61(7):1131-1136.
- [3] Sonke JJ, Aznar M, Rasch C. Adaptive radiotherapy for anatomical changes[J]. *Sem Radiat Oncol*, 2019, 29(3):245-257.
- [4] Brock KK. Adaptive radiotherapy: moving into the future[J]. *Sem Radiat Oncol*, 2019, 29(3):181-184.
- [5] Briens A, Castelli J, Barateau A, et al. Adaptive radiotherapy: strategies and benefits depending on tumor localization[J]. *Can Radiother*, 2019, 7:135.
- [6] 葛迦, 宁丽华, 严森祥, 等. 两种软件 Smart Segmentation 与 MIM Atlas 自动勾画鼻咽癌危及器官的准确性研究[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2019, 39(9):668-672.
- [7] 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.
- [8] Aurelie I, Frederic D, Francois B, et al. Evaluation of an atlas-based automatic segmentation software for the delineation of brain organs at risk in a radiation therapy clinical context[J]. *Radiother Oncol*, 2008, 87(1):93-99.
- [9] Hoang Duc AK, Eminowicz G, Mendes R, et al. Validation of clinical acceptability of an atlas-based segmentation algorithm for the delineation of organs at risk in head and neck cancer[J]. *Med Phys*, 2015, 42(9):5027-5034.
- [10] 余文祥, 林柏翰, 陈创珍, 等. 基于 ABAS 软件胸部放疗危及器官自动勾画图像集的建立与应用[J]. *广东医学*, 2018, 39(11):1698-1700.
- [11] 胡彩容, 林小艺, 阴晓娟, 等. 自动勾画软件在食管癌中的应用[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2018, 38(9):684-689.
- [12] Dolz J, Kirsli HA, Fechter T, et al. Interactive contour delineation of organs at risk in radiotherapy: clinical evaluation on NSCLC patients[J]. *Med Phys*, 2016, 43(5):2569-2580.
- [13] Arsene-Henry A, Xu HP, Robilliard M, et al. Evaluation of an automatic delineation software for organs at risk and lymph nodes in breast cancer[J]. *Radiother Oncol*, 2018, (127):S1231.
- [14] Xu HP, Henry AA, Robilliard M, et al. The use of new delineation tool "MIRADA" at the level of regional lymph nodes, step-by-step development and first results for early-stage breast cancer

patients[J].*Cancer*,2018,22(6-7):701-702.

- [15] 王琳婧,张书旭,雷怀宇,等.基于形变配准剂量累加法的自适应放疗剂量学研究[J].*中国医疗设备*,2017,32(7):68-73.
- [16] 王金媛,徐寿平,刘博,等.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[J].*中国医学物理学杂志*,2019,36(7):760-764.
- [17] 郑庆增,王运来,张建春,等.宫颈癌自适应放疗中基于自配准与图谱库的自动勾画比较[J].*中华放射肿瘤学杂志*,2019,28(4):292-296.
- [18] Kazemifar S,Balagopal A,Nguyen D,*et al*.Segmentation of the prostate and organs at risk in male pelvic CT images using deep learning[J].*Bio Phys Engin Exp*,2018,4(5):1-18.
- [19] Delpon G,Escande A,Ruef T,*et al*.Comparison of automated atlas-based segmentation software for postoperative prostate cancer radiotherapy[J].*Front Oncol*,2016,(6):178.
- [20] Pejavar S,Yom SS,Hwang A,*et al*.Computer-assisted, atlas-based segmentation for target volume delineation in whole pelvic imrt for prostate cancer[J].*Technol Can Res Treat*,2013,12(3):199-206.
- [21] Wittenstein O,Patrick H,Sowa HS,*et al*.Automatic image segmentation based on synthetic tissue model for delineating organs at risk in spinal metastasis treatment planning[J].*Strahlenther Onkol*,2019,(195):1094-1103.

本文编辑 韩莹

#### 上接第53页

- [5] 陈子满,黄美萍,罗纯,等.悬吊防护屏对介入医师最佳防护方案的体模研究[J].*介入放射学杂志*,2015,24(7):637-641.
- [6] Abatzoglou I,Koukourakis M,Konstantinides S.Reduction of the radiation dose received by interventional cardiologists following training in radiation protection[J].*Radiat Prot Dosimetry*,2013,155(1):119-121.
- [7] 徐辉,薛娟,赵红枫,等.用胶片法对心脏介入程序中患者峰值皮肤剂量测量研究[J].*中华放射医学与防护杂志*,2014,34(4):302-305.
- [8] 彭建亮,姜云,冯泽臣,等.3种介入术中工作人员的辐射剂量水平分析[J].*中华放射医学与防护杂志*,2011,31(4):395-397.
- [9] 郭启勇.介入放射学[M].3版.北京:人民卫生出版社,2010.
- [10] O'Connor U,Walsh C,Gallagher A,*et al*.Occupational radiation dose to eyes from interventional radiology procedures in light of the new eye lens dose limit from the International Commission on Radio-logical Protection[J].*Br J Radiol*,2015,88(1049):20140627.
- [11] Struelens L,Schoonjans W,Schils F,*et al*.Extremity and eye lens dosimetry for medical staff performing vertebroplasty and kyphoplasty procedures[J].*J Radiol Prot*,2013,33(3):635-645.
- [12] 刘彬,白玫,费晓璐,等.心脏介入诊疗过程中投照角度与辐射剂量的合理优化[J].*中国医疗设备*,2008,(4):1-2.
- [13] 黄卓,范瑶华,李文炎,等.单X射线管和双X射线管介入设备的介入职业人员手部皮肤受照剂量比较研究[J].*中国辐射卫生*,2017,26(3):257-260.
- [14] 李文炎,范瑶华,黄卓,等.介入手术中职业人员眼晶状体受照剂量测量方法及剂量水平研究[J].*中华放射医学与防护杂志*,2016,36(4):303-307.
- [15] 黄卓,范瑶华,岳保荣,等.辅助防护设施对降低介入职业人员眼晶状体受照剂量的影响[J].*中华放射医学与防护杂志*,2017,37(6):456-460.
- [16] 张文龙,董硕,白玫,等.双平板数字减影血管造影投照角度对介入医师辐射剂量影响的研究[J].*中国医学装备*,2020,17(3):22-26.
- [17] Padorani R,Rodella CA.Staff dosimetry in interventional cardiology[J].*Radiat Prot Dosim*,2001,94:99-103.
- [18] International Commission on Radiological Protection. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85[R].Oxford:Pergamon Press,2000.
- [19] 国家卫生健康委员会.医用X射线诊断设备质量控制检测规范:WS 76-2020[S].国家卫生健康委员会,2020-10-26.
- [20] 徐辉,王建超,黄卓,等.介入放射学中辅助防护设施改进效果评价研究[J].*中国辐射卫生*,2017,26(6):661-664.

本文编辑 韩莹

#### 上接第57页

- of solitary and multiple pulmonary nodules[J].*Clin Chest Med*,1993,14(1):111-119.
- [14] Lindell RM,Hartman TE,Swensen SJ,*et al*.Five-year lung cancer screening experience: CT appearance, growth rate, location, and histologic features of 61 lung cancers[J].*Radiology*,2007,242(2):555.
- [15] Wood DE,Kazerooni E,Baum SL,*et al*.Lung cancer screening, version 1.2015 featured updates to the NCCN guidelines[J].*J Natl Compr Cancer Netw*,2015,13(1):23-34.

本文编辑 韩莹