

自动勾画轮廓软件在头颈部锥形束CT中的应用

胡晓伟¹, 孙新臣², 李金凯², 昌志刚², 成红艳²

1. 南京医科大学特种医学系, 江苏 南京 210009; 2. 南京医科大学第一附属医院放疗科, 江苏 南京 210009

【摘要】目的:评估应用自动勾画轮廓软件(MIM)进行头颈部锥形束CT(CBCT)靶区和危及器官自动勾画的可行性。**方法:**选择进行了两次放疗定位的10例鼻咽癌病例进行回顾性分析。在MIM软件系统中,通过形变配准分别将1程计划¹CT和第一次治疗前扫描的¹CBCT中的轮廓映射至2程治疗前扫描的²CBCT中。以2程²CT中医师勾画的结构为参考,比较两种方法勾画结果的精度,评价指标包括形状相似性指数(DSC)和豪斯多夫距离(HD)。对采用两种方法得到的结构均复制至²CT,以计划²CT为参考计划,比较两种方法勾画的靶区和危及器官与参考计划之间的剂量偏差。**结果:**采用¹CBCT-²CBCT方法勾画的结构轮廓优于¹CT-²CBCT。在¹CBCT-²CBCT中除PTVnd、脊髓、晶体、视神经、视交叉、眼球和垂体外,其余结构的DSC均大于0.7,HD均小于2 cm,与参考计划的剂量偏差小于±3%。**结论:**除体积小于10 cm³的结构(骨性结构除外)、脊髓及PTVnd,利用MIM软件,采用¹CBCT-²CBCT方法勾画的靶区和危及器官能够得到较满意的结果,能够为自适应放疗提供临床指导。

【关键词】鼻咽癌;锥形束CT;形变配准;刚性配准;自动勾画轮廓软件

【中图分类号】R312;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)03-0254-05

Application of automatic segmentation software in head and neck cone beam CT

HU Xiaowei¹, SUN Xinchen², LI Jinkai², CHANG Zhigang², CHENG Hongyan²

1. Department of Special Medicine, Nanjing Medical University, Nanjing 210009, China; 2. Department of Radiation Oncology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210009, China

Abstract: Objective To evaluate the feasibility of using automatic segmentation software (MIM) to automatically segment the target areas and organs-at-risk on head and neck cone beam CT (CBCT) image. **Methods** The clinical data of 10 patients with nasopharyngeal carcinoma (NPC) who were treated with radiotherapy positioning twice were analyzed retrospectively. In MIM software system, the contours of ¹CT and ¹CBCT scanned before the first treatment fraction were propagated to ²CBCT scanned before the second treatment fraction by deformable image registration. The segmented structures of ²CT were used as the reference to compare the precision of the two methods, and the evaluation index includes Dice similarity coefficient (DSC) and Hausdorff distance (HD). The structures obtained by the two methods were duplicated to ²CT. With ²CT plan as the reference plan, the dose deviations in target areas and organs-at-risk were compared. **Results** The structural contours segmented by ¹CBCT-²CBCT were better than those obtained by ¹CT-²CBCT. In ¹CBCT-²CBCT, except for PTVnd, spinal cord, lens, optic nerve, optic chiasma, eyeball and pituitary, all the structures had DSC greater than 0.7 and HD less than 2 cm. The dose deviation between the reference plan and ¹CBCT-²CBCT were less than ±3%. **Conclusion** With the use of MIM software, the target area and organs-at-risk, excluding the structures with volume less than 10 cm³ (except for bone structures), spinal cord and PTVnd, can be delineated by ¹CBCT-²CBCT, achieving satisfactory segmentation results and providing clinical guidance for adaptive radiotherapy.

Keywords: nasopharyngeal carcinoma; cone beam CT; deformable registration; rigid registration; automatic segmentation software

【收稿日期】2018-11-19

【基金项目】国家自然科学基金(81472809, 81502653, 81672983)

【作者简介】胡晓伟, 硕士, 研究方向: 医学物理, E-mail: 2424805446@qq.com

【通信作者】成红艳, 主任医师, 研究方向: 放疗与放射生物学, E-mail: chenghongyanyishi@163.com

前言

在鼻咽癌的综合治疗中,调强放射治疗(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT)是当前最主要的治疗方法^[1]。IMRT治疗可以使剂量分布在三维方向上与靶区的形状一致,还可以在靶区和正常组织之间产生一个陡峭的剂量跌落,能够保证给予靶区规定照射剂量的

同时最大限度地降低正常组织的受照剂量^[2-3]。但是,通常在放疗5~7周后,由于肿瘤退缩、淋巴结和腺体体积的变化、患者体质量减轻等因素导致靶区和危及器官的体积和位置发生明显的变化^[4]。自适应放疗可以通过在放疗期间获取病人解剖图像信息,分析分次治疗与初始计划之间的差异并对其进行修正,重新优化生成新的放疗计划后再进行治疗,能够减少靶区的漏照和正常组织的受照剂量^[5-7]。

图像引导放疗(Image Guide Radiation Therapy, IGRT)获取的锥形束CT(CBCT)图像可以实时了解肿瘤及正常器官的解剖结构变化,是自适应放疗的关键技术。但目前CBCT的应用尚局限于校正摆位误差。本研究的目的是探讨利用MIM软件进行头颈部CBCT图像靶区和危及器官轮廓自动勾画的可行性,从而实现快速评价靶区和危及器官在放疗过程中的变化,为重新制定治疗计划提供临床指导。

1 材料与方法

1.1 病例资料

选取2018年1月~7月在江苏省人民医院放疗中心进行两次CT模拟定位扫描的10例鼻咽癌患者。年龄32~80岁,中位年龄60岁;男性6例,女性4例;均为低分化鳞癌。

1.2 体位固定和CT扫描

患者在27次治疗后,重新进行CT扫描定位。两次CT扫描均使用相同的体位及扫描条件。患者均采用仰卧位,双臂紧贴身体平行放置于左右两侧,口含压舌板,用头颈肩热塑膜进行体位固定。使用大口径CT(SOMATOM Sensation Open, CT)进行扫描,扫描范围自头顶至锁骨头下3 cm处,扫描层厚3 mm。将获得的CT图像通过DICOM格式传输至Monaco医生工作站。

1.3 CT图像的靶区勾画及计划设计

在医生工作站上,临床医师参考ICRU第50号及62号文件勾画靶区及危及器官。靶区包括:大体肿瘤(GTVnx)、颈部转移淋巴结(GTVnd)、临床靶区1(CTV1)、临床靶区2(CTV2)和由CTV外扩3 mm生成的相应计划靶区(PTVnx、PTVnd、PTV1和PTV2)。危及器官包括脑干、脊髓、垂体、眼球、晶体、视神经、视交叉、腮腺、喉、颞下颌关节、下颌骨、颞叶。两次CT图像的结构勾画均由同一位医师完成。

在Monaco计划系统进行计划设计,患者均采用同步推量放疗。处方剂量PGTVnx: 6 996 cGy, PGTVnd: 6 996 cGy, PTV1: 6 006 cGy,分割次数33次;PTV2: 5 096 cGy,分割次数28次。采用9野均分

IMRT,要求处方剂量至少包绕95%的靶区体积。

1.4 CBCT图像的扫描

利用Elekta's Synergy X-Ray Volume Imaging (XVI)系统采用头颈部模式,S20准直器,F0散射板,电压100 kV,电流10 mA,进行扫描。选取1程治疗前扫描的¹CBCT图像及2程治疗前扫描的²CBCT图像导入MIM软件系统。

1.5 轮廓自动勾画的方法

本文利用MIM v.6.8.3软件系统,采用基于约束强度的自由形态形变配准算法,通过以下两种方法对²CBCT进行轮廓的勾画:(1)通过形变配准将¹CT中的结构轮廓映射至²CBCT;(2)先通过刚性配准,将¹CT中的结构轮廓复制至¹CBCT,然后将¹CBCT中的结构映射至²CBCT。

由于CBCT图像密度分辨率较差,对比度较低,无法在CBCT图像上进行结构的精确勾画,因此选用计划²CT中医师勾画的结构为参考,比较两种方法勾画结果的精度。将两种方法得到的结构复制至计划²CT,采用2程的治疗计划,对两种方法勾画的结构进行剂量计算,以2程计划²CT的剂量为参考,比较两种方法勾画的靶区和危及器官与参考计划之间的剂量偏差。

1.6 评价参数

1.6.1 勾画精度 运用形状相似性系数(Dice Similarity Coefficient, DSC)和豪斯多夫距离(Hausdorff Distance, HD)进行评估:

$$DSC = \frac{2 \times (V_{\text{reference}} \cap V_{\text{tested}})}{V_{\text{reference}} + V_{\text{tested}}} \quad (1)$$

其中, $V_{\text{reference}}$ 表示参考图像轮廓的体积, V_{tested} 表示自动勾画轮廓的体积。DSC的范围是0~1,值越大表示两个轮廓的相似性越高^[8]。DSC>0.7代表两个结构重合较好^[9-10]。

$$HD = \max\{dRT, dRT\} = \max\left\{\max_{r \in R} \min_{t \in T} d(r, t), \max_{t \in T} \min_{r \in R} d(t, r)\right\} \quad (2)$$

其中,HD用来测量参考图像的轮廓 R 与自动勾画的轮廓 T 之间的最大欧几里得距离, r 为 R 中的一个点, t 为 T 中的一个点^[11]。HD值越小,表明两个轮廓之间的距离越小^[12-13]。

1.6.2 剂量差异 靶区的评价指标包括:PTVnx、PTVnd、PTV1的 D_{mean} 。危及器官的评价指标包括:脊髓、脑干、垂体、晶体、视交叉、视神经的 D_{max} ,眼球、喉、下颌骨、颞下颌关节的 D_{mean} ,颞叶的 $D_{5\%}$,腮腺的 D_{mean} 。

以2程计划²CT的剂量为参考,计算两种勾画方法的剂量(D_i)与参考剂量(D_r)之间的偏差,计算公式为: $\frac{D_i - D_r}{D_r} \times 100\%$ 。

1.7 统计学方法

使用SPSS 20.0软件对参数进行统计学分析,计量资料用均数±标准差表示,比较两种方法的靶区和危及器官评价指标均采用配对t检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 自动勾画精度

对采用¹CT-²CBCT方法勾画的结构中,DSC>0.7的包括:PTVnx、PTV1、眼球、腮腺、下颌骨、颞下颌关节。在¹CBCT-²CBCT中DSC>0.7的结构包括:PTVnx、PTV1、

脑干、眼球、腮腺、垂体、喉、下颌骨、颞下颌关节、颞叶。除了脊髓、晶体、下颌骨和左颞下颌关节,¹CBCT-²CBCT的DSC均大于¹CT-²CBCT,HD均小于¹CT-²CBCT,说明¹CBCT-²CBCT的方法优于¹CT-²CBCT,在PTVnx、PTVnd、PTV1、脑干、视交叉、视神经、颞叶中差距更加明显($P < 0.05$)。除了脊髓,¹CT-²CBCT和¹CBCT-²CBCT的HD值均小于2 cm。详见表1。图1为1例鼻咽癌患者分别由¹CT-²CBCT、¹CBCT-²CBCT和医生手工勾画结果的比较,可以看出¹CBCT-²CBCT勾画的轮廓更加接近医生勾画的轮廓。

表1 两种方法对靶区和危及器官勾画结果的DSC和HD比较

Tab.1 Comparison of Dice similarity coefficient (DSC) and Hausdorff distance (HD) between two methods for the segmentation of target areas and organs-at-risk

靶区和结构	体积/cm ³	¹ CT- ² CBCT		¹ CBCT- ² CBCT		P值		
		DSC	HD/cm	DSC	HD/cm	DSC	HD	
PTVnx	130.15±111.67	0.79±0.12	1.13±0.32	0.84±0.07	0.81±0.29	0.157	0.041	
PTVnd	34.55±30.40	0.49±0.18	1.43±0.69	0.65±0.09	1.11±0.66	0.025	0.051	
PTV1	683.29±214.77	0.84±0.04	1.77±0.77	0.89±0.04	1.43±0.74	0.006	0.115	
脑干	28.57±4.16	0.69±0.07	1.31±0.46	0.84±0.04	0.58±0.14	<0.001	0.004	
脊髓	25.96±8.74	0.63±0.08	4.33±2.60	0.64±0.05	4.45±2.67	0.686	0.089	
视交叉	2.44±1.25	0.32±0.26	1.16±0.64	0.47±0.32	0.67±0.36	0.073	0.017	
晶体	左	0.23±0.08	0.31±0.13	0.48±0.12	0.34±0.22	0.49±0.21	0.725	0.898
	右	0.23±0.06	0.40±0.21	0.42±0.12	0.39±0.27	0.49±0.15	0.891	0.227
眼球	左	8.68±1.40	0.79±0.06	0.55±0.15	0.83±0.07	0.47±0.15	0.317	0.322
	右	9.03±1.19	0.77±0.06	0.61±0.09	0.82±0.07	0.46±0.14	0.247	0.075
视神经	左	0.60±0.17	0.16±0.15	0.72±0.18	0.52±0.27	0.48±0.23	0.004	0.016
	右	0.67±0.20	0.29±0.18	0.59±0.17	0.53±0.18	0.37±0.10	0.017	0.022
腮腺	左	28.15±11.33	0.78±0.10	1.03±0.42	0.80±0.11	1.01±0.40	0.365	0.602
	右	27.49±11.93	0.75±0.07	1.15±0.62	0.78±0.08	0.94±0.41	0.127	0.186
垂体	0.89±0.18	0.43±0.09	0.94±0.13	0.84±0.07	0.23±0.11	0.172	0.150	
喉	24.29±25.24	0.74±0.14	1.09±0.41	0.76±0.15	0.86±0.27	0.502	0.399	
下颌骨	74.61±12.53	0.86±0.04	0.93±0.55	0.85±0.06	0.93±0.46	0.552	0.968	
颞下颌关节	左	3.91±0.65	0.75±0.07	0.50±0.19	0.71±0.19	0.47±0.24	0.566	0.739
	右	4.07±0.56	0.81±0.08	0.36±0.05	0.82±0.07	0.35±0.06	0.826	0.883
颞叶	左	49.54±18.69	0.67±0.20	1.43±0.54	0.80±0.20	0.86±0.58	0.015	0.021
	右	56.09±21.50	0.70±0.20	1.68±0.81	0.82±0.14	0.93±0.63	0.004	0.001

DSC: 形状相似性系数; HD: 豪斯多夫距离

2.2 剂量差异

除脑干、脊髓、下颌骨和右颞下颌关节外,¹CBCT-²CBCT中其余结构与参考计划的剂量偏差

均小于¹CT-²CBCT;在PTVnd、PTV1、眼球、右视神经、腮腺中差距具有统计学意义($P < 0.05$)。¹CBCT-²CBCT中除了体积小于10 cm³(骨性结构除外)的结构(视交叉、

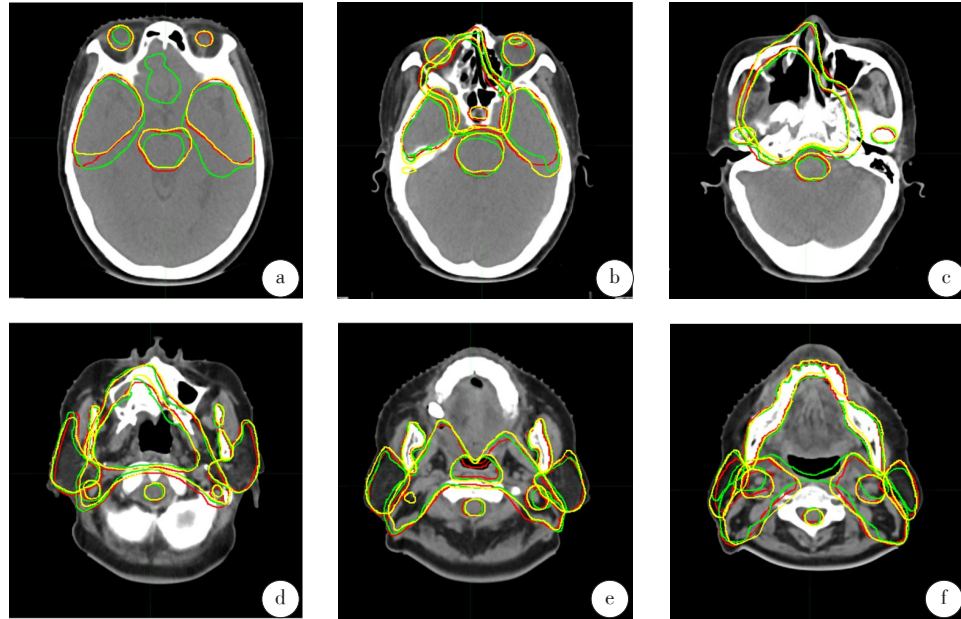


图1 两种勾画方法的比较

Fig.1 Comparison of two segmentation methods

红线为医师勾画的结构,绿线为¹CT-²CBCT勾画的结构,黄线为¹CBCT-²CBCT勾画的结构。

晶体、眼球、视神经、垂体),其他结构的剂量偏差均小于±3%。结果见表2。

3 讨论

MIM软件的形变配准是基于约束强度的自由形态形变配准算法,能够纠正治疗部位变化造成的配准错误,是具备高自由度的形变配准算法,能够用于重新计划的自适应重新勾画^[14-15]。

本研究将此算法应用于头颈部CBCT靶区和危及器官的勾画中,评估形变配准在CBCT中的适用性。这种算法的局限性在于两幅图像的亨氏单位不一致可能会造成配准错误^[16],由此猜想利用¹CBCT-²CBCT的形变配准会优于¹CT-²CBCT的形变配准。因此,本文采用¹CT-²CBCT和¹CBCT-²CBCT两种方法,分别对²CBCT进行器官轮廓的自动勾画,得出结论:除了脊髓、晶体、下颌骨和左颞下颌关节,¹CBCT-²CBCT的DSC均大于¹CT-²CBCT,HD均小于¹CT-²CBCT,而脊髓、晶体、下颌骨和左颞下颌关节在两种方法中差距较小,认为¹CBCT-²CBCT的方法优于¹CT-²CBCT。

在¹CBCT-²CBCT中,除PTVnd、脊髓、晶体、视神经、视交叉、眼球及垂体外,其他结构的DSC均大于0.7,HD均小于2 cm,与²CT的剂量偏差在±3%以内,得到的结果较为满意。至于PTVnd、脊髓、晶体、视神经、视交叉、眼球及垂体勾画结果较差的原因,可能包括:(1)CBCT扫描的范围小于CT的扫描范围,导致部分脊髓未能显示在CBCT图像中;(2)PTVnd

表2 两种方法对靶区和危及器官勾画结果的剂量偏差比较(%)

Tab.2 Comparison of dose deviations in target areas and organs-at-risk (%)

靶区和结构	参数	¹ CT- ² CBCT	¹ CBCT- ² CBCT	P值
PTVnx	D _{mean}	-0.70±1.12	-0.22±0.49	0.148
PTVnd	D _{mean}	-1.74±2.81	-0.45±1.60	0.054
PTV1	D _{mean}	-2.66±4.93	-0.89±4.66	0.003
脑干	D _{max}	-0.26±7.38	2.69±7.17	0.017
脊髓	D _{max}	0.64±2.26	2.90±3.57	0.053
视交叉	D _{max}	-16.16±35.20	-11.44±28.13	0.276
晶体	左 D _{max}	76.75±110.78	34.65±76.99	0.222
	右 D _{max}	46.63±52.38	31.95±61.95	0.294
眼球	左 D _{mean}	39.92±42.94	5.62±19.89	0.010
	右 D _{mean}	30.74±40.37	7.65±32.29	0.022
视神经	左 D _{max}	20.72±40.32	-9.95±31.71	0.082
	右 D _{max}	20.74±24.66	-2.90±5.95	0.028
腮腺	左 D _{mean}	-4.71±16.69	-0.45±15.22	0.044
	右 D _{mean}	-5.64±10.29	-0.81±13.20	0.021
垂体	D _{max}	-32.32±50.90	-25.49±45.12	0.298
喉	D _{mean}	-1.37±2.19	-0.38±2.00	0.368
下颌骨	D _{mean}	0.47±1.88	0.50±2.21	0.966
颞下颌关节	左 D _{mean}	-2.03±3.07	-1.42±4.11	0.460
	右 D _{mean}	0.43±2.44	-0.90±1.86	0.716
颞叶	左 D _{5%}	-12.19±22.96	-2.74±12.07	0.090
	右 D _{5%}	-10.57±15.52	-0.28±4.50	0.146

与周围组织的分辨率较差^[17],而且PTVnd为不连续的区域,单个颈部转移性淋巴结的体积较小;(3)晶体、视神经、视交叉、眼球和垂体的体积较小^[18]。

采用¹CBCT-²CBCT方法,利用形变配准勾画的大部分结构能够得到较满意的结果,但略差于Hvid等^[19]、Bendall等^[20]的研究结果,

可能是他们选取的参考图像与目标图像为同一幅图像,使其DSC指数较高。由于CBCT图像密度分辨率较差,对比度较低,使得CBCT的应用尚局限于校正摆位误差。本研究将形变配准算法应用于头颈部CBCT中,能够评价大部分结构在放疗过程中形态、位置及受照剂量的变化,可以为重新制定治疗计划提供临床指导,辅助自适应放疗,实现精确的个体化放疗。

【参考文献】

- [1] MARTA G N, SILVA V, DE ANDRADE CARVALHO H, et al. Intensity-modulated radiation therapy for head and neck cancer: systematic review and meta-analysis[J]. *Radiother Oncol*, 2014, 110(1): 9-15.
- [2] 李宝生, 于金明, 王立英, 等. 调强放射治疗计划[J]. *中国肿瘤*, 2001, 10(8): 461-463.
LI B S, YU J M, WANG L Y, et al. Plan of intensity modulated radiation therapy[J]. *China Cancer*, 2001, 10(8): 461-463.
- [3] BEADLE B M, LIAO K P, ELTING L S, et al. Improved survival using intensity-modulated radiation therapy in head and neck cancers: a SEER-medicare analysis[J]. *Cancer*, 2014, 120(5): 702-710.
- [4] BARKER J L, GARDEN A S, ANG K K, et al. Quantification of volumetric and geometric changes occurring during fractionated radiotherapy for head-and-neck cancer using an integrated CT/linear accelerator system[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2004, 59(4): 960-970.
- [5] YAN D, VICINI F, WONG J, et al. Adaptive radiation therapy[J]. *Phys Med Biol*, 1997, 42(1): 123-132.
- [6] SCHWARTZ D L, GARDEN A S, SHAH S J, et al. Adaptive radiotherapy for head and neck cancer-dosimetric results from a prospective clinical trial[J]. *Radiother Oncol*, 2013, 106(1): 80-84.
- [7] 甄鑫. 自适应放射治疗中的图像变形配准关键技术研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2013.
ZHEN X. Research of deformable image registration for adaptive radiation therapy [D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2013.
- [8] WALKER G V, AWAN M, TAO R, et al. Prospective randomized double-blind study of atlas-based organ-at-risk autosegmentation-assisted radiation planning in head and neck cancer[J]. *Radiother Oncol*, 2014, 112(3): 321-325.
- [9] 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 radiotherapy of early breast cancer[J]. *Radiother Oncol*, 2016, 121(3): 424-430.
- [10] 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.
- [11] VALENTINI V, BOLDRINI L, DAMIANI A, et al. Recommendations on how to establish evidence from auto-segmentation software in radiotherapy[J]. *Radiother Oncol*, 2014, 112(3): 317-320.
- [12] 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.
- [13] YANG J, BEADLE B M, GARDEN A S, et al. Auto-segmentation of low-risk clinical target volume for head and neck radiation therapy[J]. *Pract Radiat Oncol*, 2014, 4(1): e31-e37.
- [14] PIPER J W. Evaluation of an intensity-based free-form deformable registration algorithm[J]. *Med Phys*, 2007, 34(6): 2353-2354.
- [15] KIRBY N, CHUANG C, UEDA U, et al. The need for application-base dadaptation of deformable image registration[J]. *Med Phys*, 2013, 40(1): 011702.
- [16] 吴茜. 精准放射治疗中图像配准关键技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015.
WU Q. Key technologies of image registration for accurate[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2015.
- [17] 侯勇, 尹勇, 马长升, 等. 肺癌锥形束CT与计划CT形变配准自动勾画危及器官可行性研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2012, 21(5): 460-463.
HOU Y, YIN Y, MA C S, et al. Study the feasibility of kilovolt cone beam CT organs at risk contouring automatically using deformation registration in the radiotherapy of lung [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2012, 21(5): 460-463.
- [18] 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. Automatic evaluation of target area of nasopharyngeal carcinoma[J]. *Sichuan Medical Journal*, 2015, 36(6): 762-766.
- [19] HVID C A, ELSTROM U V, JENSEN K, et al. Accuracy of software-assisted contour propagation from planning CT to cone beam CT in head and neck radiotherapy[J]. *Acta Oncol*, 2016, 55(11): 1324-1330.
- [20] BENDALL L S, NAJIM M, STENSMYR R, et al. Performance evaluation of head and neck contour adaptation with cone beam CT using two commercial software systems[J]. *Acta Oncol*, 2015, 54(9): 1693-1697.

(编辑:陈丽霞)