

## 基于图像处理的医学影像处理平台系统设计

朱翔宇<sup>1</sup>, 葛中芹<sup>1</sup>, 张冰清<sup>1</sup>, 黄晓林<sup>1</sup>, 陈颖<sup>1</sup>, 金建华<sup>2</sup>, 蔡晶<sup>2</sup>, 储开岳<sup>2</sup>, 葛云<sup>1</sup>, 曹悦<sup>1</sup>, 陈韵霞<sup>1</sup>

1. 南京大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210023; 2. 南通市肿瘤医院放疗科, 江苏 南通 226361

**【摘要】目的:**设计一款基于图像处理的医学影像处理平台,可对肿瘤影像进行定量分析。**方法:**系统设计模块包括医学数字成像和通信解读及图像载入模块、图像显示模块、感兴趣区域勾画模块、感兴趣体积三维展示模块、可视化模块共5个模块。系统可自动计算出勾画区域内的定量指标,这些特征可用来进行进一步的肿瘤分化检测、肿瘤特性评估、治疗监控以及评估预后。在完成系统设计后,进行15例宫颈癌病人分化程度的定量分析对比实验。导入扫描得到的磁共振扩散加权成像图以及表观扩散系数图进行分析,得到中高分化和低分化组织的ADC均值ADC<sub>5%</sub>、ADC<sub>10%</sub>、ADC<sub>25%</sub>、ADC<sub>50%</sub>、ADC<sub>75%</sub>、ADC<sub>90%</sub>、偏度、峰度、熵10个参数,并进行统计学分析,以评估参数对于区分中高分化组织与低分化组织的效能。**结果:**肿瘤中高分化组织的ADC<sub>75%</sub>、ADC<sub>90%</sub>两项参数显著高于低分化组织( $P<0.05$ )。本次实验还通过ROC分析得到区分中高分化组织和低分化组织各参数的阈值( $P<0.05$ )。**结论:**该平台是创新型设计,具有定量挖掘出医学影像中具体参数信息、操作灵活、简单等特点。

**【关键词】**肿瘤;图像处理;医学影像;处理平台;对比试验

**【中图分类号】**R319;TP311.52

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2017)04-0388-05

## Design of a medical image processing platform system based on image processing

ZHU Xiangyu<sup>1</sup>, GE Zhongqin<sup>1</sup>, ZHANG Bingqing<sup>1</sup>, HUANG Xiaolin<sup>1</sup>, CHEN Ying<sup>1</sup>, JIN Jianhua<sup>2</sup>, CAI Jing<sup>2</sup>, CHU Kaiyue<sup>2</sup>, GE Yun<sup>1</sup>, CAO Yue<sup>1</sup>, CHEN Yunxia<sup>1</sup>

1. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 2. Department of Radiotherapy, Nantong Tumor Hospital, Nantong 226361, China

**Abstract: Objective** To design a medical image processing platform based on image processing for quantitative analysis of tumor images. **Methods** The designed image processing platform consisted of separate modules for medical digital imaging and communication interpretation, image loading, image display, delineation of the regions of interest (ROI), volume of interest display and visualization. The system automatically calculated the quantitative features from the ROI for further tumor differentiation evaluation, tumor characteristics assessment, treatment monitoring and prognosis evaluation. Using this system, 15 patients with cervical cancer were examined for quantitative assessment of the differentiation of the tumors. The magnetic resonance diffusion weighted images and apparent diffusion coefficient (ADC) images were input into the system to obtain the ADC<sub>mean</sub>, ADC<sub>5%</sub>, ADC<sub>10%</sub>, ADC<sub>25%</sub>, ADC<sub>50%</sub>, ADC<sub>75%</sub>, ADC<sub>90%</sub>, skewness, kurtosis, and entropy of the tumor tissues. SPSS software was used to evaluate the effectiveness of the parameters to distinguish the poorly differentiated tumors from the well or moderately differentiated ones. **Results** The ADC<sub>75%</sub> and ADC<sub>90%</sub> of well or moderately differentiated tumors were significantly higher than those of poorly differentiated tumors ( $P<0.05$ ). The thresholds of the parameters for distinguishing the poorly from well or moderately differentiated tumors were obtained by ROC analysis ( $P<0.05$ ). **Conclusion** With flexible and convenient operation and an innovative design, this medical image processing platform allows for quantitative analysis of specific parameters in medical images.

**Keywords:** tumors; image processing; medical images; image processing platform; comparison test

**【收稿日期】**2016-11-27

**【基金项目】**江苏省研究生培养创新工程项目(SJLX16\_0013, SJZZ16\_0016);江苏省重点研发计划(SBE2016733);江苏省政策引导类计划(产学研合作)-前瞻性联合研究项目(BY2015069-06);江苏省高等教育教改研究立项课题(2013JSJG169, 2015JSJG165, 2015JSJG169);2014、2016年度电子信息类专业教指委研究课题重点项目(2014-Z2, 2016-Z1);2015、2016年教育部产学研合作专业综合改革项目;中央高校基本科研业务费专项基金;清华大学出版社综合性大学电子信息类实践教学体系研究项目

**【作者简介】**朱翔宇, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理, E-mail: 515235778@qq.com

**【通信作者】**葛中芹, 工程师, 研究方向: 信号和信息处理, E-mail: gxlin\_2000@163.com; 金建华, 高级工程师, 物理师, 从事放射物理工作, E-mail: jinjh2000@hotmail.com

## 前言

自70年代以来,随着磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)、CT等技术的飞速发展,医学影像逐渐成为医学诊断和疾病治疗的重要依据<sup>[1]</sup>,在临床上得到广泛应用,具有非常重要的应用价值<sup>[2-3]</sup>。医学影像的获取和处理与患者的治疗息息相关,尤其对于身患肿瘤等疾病的患者,对其医学影像评估的准确度极大影响其术前的治疗方案及预后。一套优良的图像处理系统可以挖掘出人眼无法识别的特征,从而更大限度地反馈出影像中的信息,提高图像的利用度<sup>[4]</sup>。此外,一套好的系统还可以在很大程度上减轻医生的负担,节省医生时间,解放出更多

的医疗资源。因此,我们提出设计一套基于图像处理的医学影像处理平台系统,可以提供图像展示、感兴趣区域(ROI)勾画、感兴趣体积(VOI)三维重建、可视化等数项功能。

## 1 系统设计

系统设计框图如图1所示,该系统可分为医学数字成像和通信(DICOM)解读及图像载入、图像显示、ROI勾画、VOI三维展示和可视化5个模块。系统首先读取MRI与CT等医学影像并进行显示,医师可在图像上进行ROI勾画,勾画的轮廓可以同步在不同图像序列的相同位置上显示,以便医生在多序列图像上对ROI进行查看。

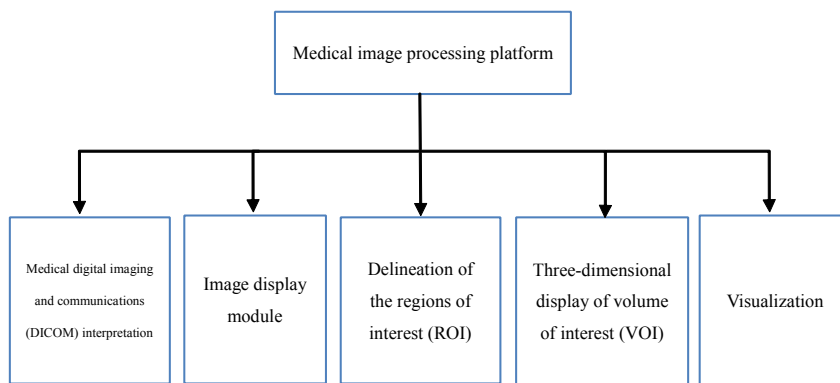


图1 医学影像处理平台系统结构图

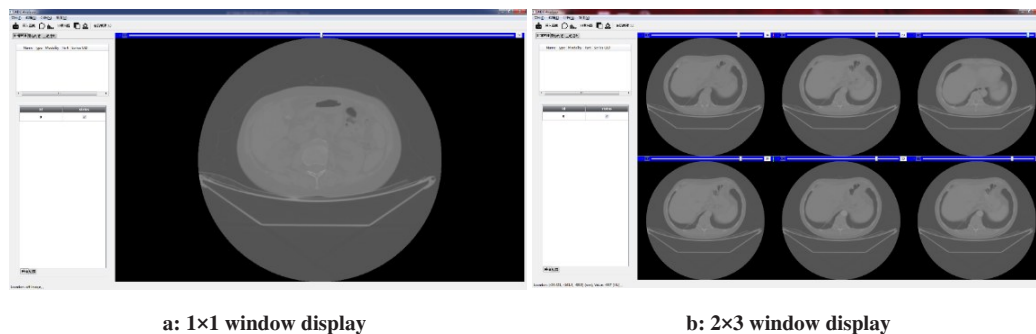
Fig.1 System structure of the medical image processing platform

### 1.1 DICOM解读及图像载入模块

DICOM是医学图像和相关信息的国际标准,它定义了质量能满足临床需要且可用于数据交换的医学图像格式。本系统软件可以对DICOM进行解读,同时可载入多次检查的磁共振扩散加权成像(DWI)图像序列、表观扩散系数(ADC)图像序列、CT图像序列等,载入的图像序列会暂存于平台系统中,以便后续调用处理。

### 1.2 图像显示模块

本平台软件展示方式多样,可根据医生需要进行放大、对比等灵活可变动的图像展示方式。软件的图像展示窗口可展示已载入的多序列图像,将DICOM图像载入之后,使用者可使用菜单栏中的布局管理功能根据实际情况分割展示区(如图2a分割成1×1,图2b分割成2×3),每一块展示区独立展示其中一组图像,每组序列可使用图像上方的活动条进行图像的选择。



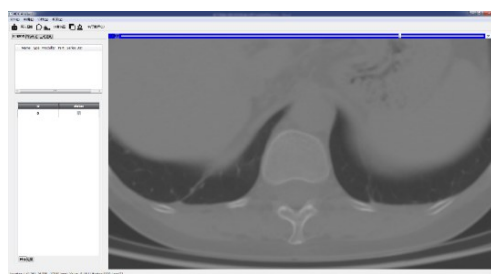
a: 1×1 window display

b: 2×3 window display

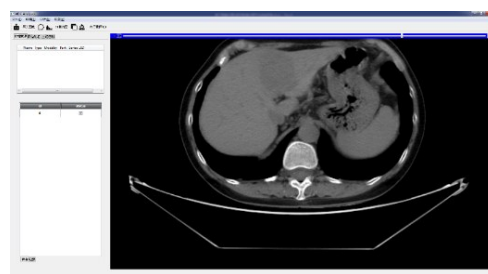
图2 多窗口分割展示

Fig.2 Multiple window display of the segmentation results

软件还可进行放大显示,在图像窗口按住左键进行拖动即可令图像进行放大或缩小操作,以便医生观察病人的重点部位,如图3a所示;在图像窗口按住右键进行拖动还可以对图像进行窗宽窗位的变换,以便医生灵活观察,如图3b所示。除此之外,平台展示时还可以通过图片左上角的锁定功能将选定的序列进行锁定,从而可同时对多序列进行相同的变换,以便医生对需要的图像进行精确比较。



a: Enhanced processing



b: Changing the width of window

图3 改变图像显示方式

Fig.3 Alternative mode of image display

### 1.3 ROI勾画模块

医生可以在某一图像序列中对多个ROI进行手动勾画,可勾画出任意形状,且勾画的区域可以通过锁定功能在其他序列上同步显示,如图4所示。

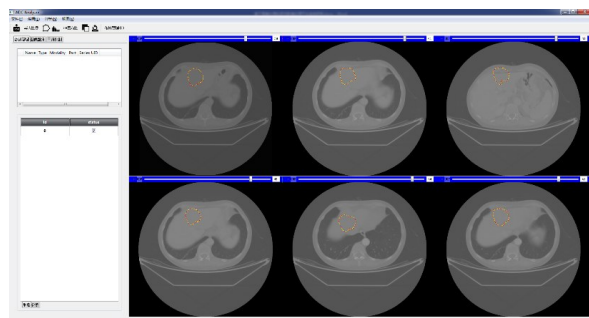


图4 ROI勾画功能

Fig.4 Delineation of the ROI

### 1.4 VOI三维展示模块

软件提供单序列VOI展示和多序列(一般为两组图像)VOI对比展示两种展示方式,并给出VOI相关信息(如VOI体积),在对比展示中,软件还将给出VOI内肿瘤3种发展情况在VOI中所占的体积百分比。单序列VOI展示指对医生勾画的ROI以体绘制的方式进行三维重建并展示。医生可以选择某一图像像素值或像素区间,软件将给出其对应部分的空间分布信息,并在三维中高亮显示。图5即为对CT图像进行勾画后三维重建后的结果。

### 1.5 可视化模块

软件可分析置信区间内的像素值分布,计算结果将以直方图的形式进行可视化,相关参数将在图例中

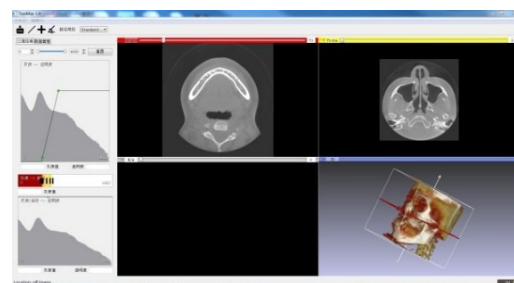


图5 对CT图像进行三维重建后的结果

Fig.5 Three-dimensional reconstruction of CT images

显示,或通过列表的形式在直方图下方显示。置信区间可由医生进行手动调整,默认为0%~100%,直方图和列表中的计算结果也将根据置信区间的变化而实时更新。同时,软件提供数据导出功能,可将像素及分析结果以特定的文件格式导出。当分析一个病人图像的相关参数时,该参数可以来自于一张图像上勾画的ROI,也可以来自一组图像勾画的VOI。

## 2 临床试验

### 2.1 实验对象

本次实验已经通过机构审查委员会的批准,所有病患都已签署了知情同意书。实验对象为穿刺确诊的宫颈癌患者15例,年龄45~68岁。

### 2.2 实验方法

将15例患者(7例中高分化患者与8例低分化患者)的宫颈癌DWI及其生成的ADC图导入至处理平台中,随后在可以见到肿瘤的每一层DWI上勾画出宫颈癌变组织的轮廓,即宫颈癌的VOI。该轮廓会自动复制到ADC图中对应的位置,再利用软件自动计

算出宫颈癌组织的ADC均值、ADC5%、ADC10%、ADC25%、ADC50%、ADC75%、ADC90%、偏度、峰度、熵等肉眼无法识别的特征,并将数据导出到Excel表格中供后续分析(图6)<sup>[5-6]</sup>。

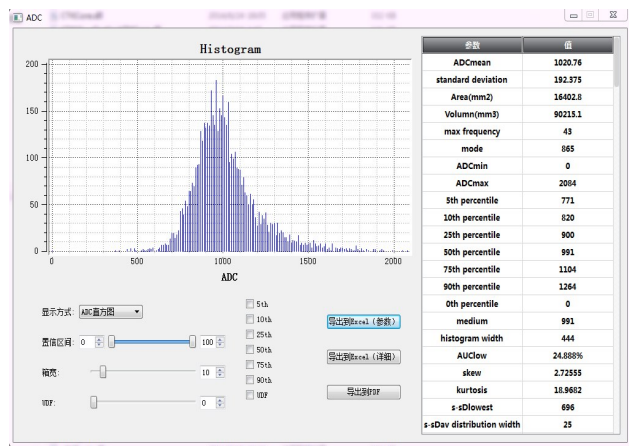


图6 以软件画出直方图并导出数据至Excel

Fig.6 Histogram drawn with the system and the data inputted in Excel

## 2.3 统计学方法

利用SPSS软件进行所有的统计学分析,利用曼-惠特尼检验比较宫颈癌低分化肿瘤和中高分化肿瘤的ADC均值、ADC5%、ADC10%、ADC25%、ADC50%、ADC75%、ADC90%、偏度、峰度、熵是否存在显著差异。再对统计显著的参数利用ROC曲线分析确定区分肿瘤和正常组织的最佳阈值,当 $P < 0.05$ 说明分析具有统计学意义。

## 3 结果

### 3.1 曼-惠特尼检验分析结果

结果如表1所示,表1列出了ADC均值、ADC5%、ADC10%、ADC25%、ADC50%、ADC75%、ADC90%、偏度、峰度、熵等10个参数在低分化肿瘤组织和中高分化肿瘤组织的中位数,括号中的数值代表25%位置与75%位置的数据。通过表1可以看到宫颈癌中高分化组织的ADC75%、ADC90%两个参数显著高于宫颈癌低分化肿瘤组织( $P < 0.05$ ),而其他8个参数不能显著区分。

表1 曼-惠特尼检验分析结果( $\times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ )

Tab.1 Analysis of the trial results in 15 patients with cervical cancer using Mann-Whitney test ( $\times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ )

Parameter	n	Poorly	Well or moderately	P value
ADC <sub>mean</sub>	15	921.400 (858.300, 952.600)	1 036.000 (975.600, 1 104.845)	0.063
ADC5%	15	721.000 (634.500, 761.500)	832.000 (707.000, 845.500)	0.163
ADC10%	15	751.500 (669.000, 789.500)	868.000 (762.000, 882.500)	0.104
ADC25%	15	806.500 (731.000, 840.750)	933.000 (844.000, 948.000)	0.104
ADC50%	15	881.000 (814.800, 910.800)	999.000 (936.000, 1 052.500)	0.063
ADC75%	15	991.500 (930.500, 1 027.000)	1 104.000 (1 080.000, 1 174.000)	0.037
ADC90%	15	1 150.000 (1 102.000, 1 186.000)	1 342.000 (1 243.000, 1 382.000)	0.011
Skewness	15	2.855 (2.674, 3.036)	2.726 (2.142, 3.024)	0.353
Kurtosis	15	14.610 (12.110, 17.160)	14.990 (10.440, 15.870)	0.486
Entropy	15	6.171 (6.123, 6.221)	6.177 (6.066, 6.284)	0.816

ADC: Apparent diffusion coefficient

### 3.2 ROC 曲线分析

ADC90%的ROC下的区域面积AUC最大,为0.893,其最佳阈值为1 183( $\times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ),敏感性和特异性分别为1.000和0.750。ADC75%的AUC的值为0.821,其最佳阈值为1 028( $\times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ),敏感性和特异性分别为0.875和0.750。图7为ROC曲线图。

## 4 讨论

ADC值体现了组织内部水分子的活跃程度,活

跃度越高,ADC值越高,中高分化组织水分子的活跃程度高,低分化组织的水分子活跃程度低,所以低分化组织的ADC值要比中高分化组织的ADC值低<sup>[7-8]</sup>。将VOI的ADC值进行均值化处理得到的就是该区域的ADC均值。ADC5%、ADC10%、ADC25%、ADC50%、ADC75%、ADC90%表示ADC直方图分别在5%、10%、25%、50%、75%、90%的位置时值的大小,低分化组织的值应小于中高分化组织<sup>[9-10]</sup>。本次实验中,中高分化组织的ADC75%和



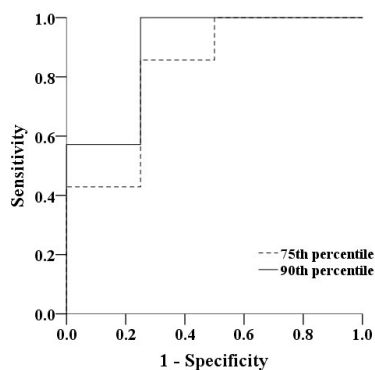


图7 ROC曲线图

Fig.7 Receiver operating characteristics (ROC) curve

ADC90%的值显著大于低分化组织,但其他ADC值不能显著区分。偏度和峰度反映了直方图分布偏离正态分布的程度,熵则代表了区域内ADC值的混乱度,就低分化组织与中高分化组织来说并未发现显著区别。从实验的ROC曲线可以看出,ADC90%的AUC值、敏感度、特异性相较其他参数都是最大的,用来对低分化组织与中高分化组织进行区分比其他参数具有更高的效能。熵值虽然在中高分化组织和低分化组织的区分度上不如ADC90%的效能,但根据前人的研究,熵值可以体现肿瘤区域组织的异质性,在未来的研究中可能具有别的价值<sup>[11-13]</sup>。

## 5 结论

本研究完成了基于图像处理的医学影像处理平台的设计,实现了对医学图像的信息处理,包括对医学影像的显示操作如显示、放大、勾画等以及后期ROI、VOI内多种指标的提取,包括ADC均值、偏度、峰度、熵等数10个参数,极大提高了医生对医学影像信息的挖掘,有助于提高疾病的诊疗效果。

## 【参考文献】

- [1] 赵明昌,田捷.医学影像处理与分析开发包MITK的设计与实现[J].软件学报,2005,16(4):485-495.  
ZHAO M C, TIAN J. Design and implementation of MITK for 3D medical image processing and analyzing[J]. Journal of Software, 2005, 16(4): 485-495.
- [2] 毕帆,王龙辰,李斌.基于专利检索的我国医用磁共振成像系统专利现状分析[J].中国医疗设备,2015,30(1):71-73.  
BI F, WANG L C, LI B. Analysis on the current situation of patents related to MRI system in China based on patent search[J]. China Medical Equipment, 2015, 30(1): 71-73.
- [3] 苗语,何飞.一种实用型医学影像处理平台[J].长春师范学院学报,2007,26(12):95-98.  
MIAO Y, HE F. A kind of practical medical image processing platform[J]. Journal of Changchun Normal University, 2007, 26(12): 95-98.
- [4] 聂河凤.医学影像信息系统中图像处理技术的研究与实现[D].西安:西安电子科技大学,2014.  
NIE H F. Research and implementation of image[D]. Xi'an: Journal of Xidian University, 2014.
- [5] DOWNEY K, RICHES S F, MORGAN V A, et al. Relationship between imaging biomarkers of stage I cervical cancer and poor-prognosis histologic features: quantitative histogram analysis of diffusion-weighted MR images[J]. AJR Am J Roentgenol, 2013, 200(2): 314-320.
- [6] 姜卓然,何健,管月,等.宫颈癌磁共振扩散加权成像表观扩散系数:熵值的开发及初步应用[J].中国医学物理学杂志,2016,33(4):372-375.  
JIANG Z R, HE J, GUAN Y, et al. Development and primary application of entropy based on apparent diffusion coefficient mapping of magnetic resonance diffusion weighted imaging for cervical cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2016, 33(4): 372-375.
- [7] 林宇宁.弥散加权成像ADC值直方图在宫颈癌病理特征评估中的应用[D].上海:第二军医大学,2014.  
LIN Y N. Apparent diffusion coefficient histogram of MR diffusion weighted imaging: evaluation on pathological features of uterine cervix cancer[D]. Shanghai: The Second Military Medical University, 2014.
- [8] 杨功鑫,王平仲,朱文静,等.腮腺囊实性肿瘤中不同成分对ADC均值的影响[J].放射学实践,2014,29(5):525-528.  
YANG G X, WANG P Z, ZHU W J, et al. Influence of solid and cystic components within parotid gland tumors on mean ADC value[J]. Radiologic Practice, 2014, 29(5): 525-528.
- [9] 李翔,强金伟,陆娜,等.3.0T磁共振扩散加权成像诊断肛瘘的价值[J].中国临床医学,2015,22(6):791-795.  
LI X, QIANG J W, LU N, et al. Diagnostic value of 3.0 T diffusion-weighted magnetic resonance imaging sequence in perianal fistulas[J]. Chinese Journal of Clinical Medicine, 2015, 22(6): 791-795.
- [10] 陆媛媛,黄群英,孙明华,等.ADC直方图区分宫颈癌常见病理类型的价值[J].中国医学计算机成像杂志,2015,21(3):255-259.  
LU Y Y, HUANG Q Y, SUN M H, et al. The value of histogram-based apparent diffusion coefficient in distinguishing common pathological subtypes of cervical cancer[J]. Chinese Journal of Medical Computed Imaging, 2015, 21(3): 255-259.
- [11] 冯远明,沈树铭,郭琦,等.肿瘤异质性的影像学定量分析进展[J].纳米技术与精密工程,2014,12(6):404-410.  
FENG Y M, SHEN S M, GUO Y, et al. Progress in quantitative analysis of tumor heterogeneity with medical images[J]. Nanotechnology and Precision Engineering, 2014, 12(6): 404-410.
- [12] 倪良平,刘影,刘梦秋.鼻咽癌:DCE-MRI定量参数与ADC值的相关性[J].实用医学杂志,2015,31(23):3927-3929.  
NI L P, LIU Y, LIU M Q. Nasopharyngeal carcinoma: correlation between quantitative parameters of DCE-MRI and ADC[J]. The Journal of Practical Medicine, 2015, 31(23): 3927-3929.
- [13] 杨壹玲,褚嘉祐,王明荣.肿瘤遗传异质性[J].遗传,2013,35(1):1-9.  
YANG Y L, CHU J Y, WANG M R. Tumor genetic heterogeneity[J]. Hereditas, 2013, 35(1): 1-9.

(编辑:陈丽霞)