

论 著

双层探测器光谱CT在肺孤立性良恶性结节中的诊断价值*

张楠¹ 田冰² 田晓娟²
乔英^{2,*}

1.山西医科大学医学影像学院
(山西太原 030001)

2.山西医科大学附属第一医院影像科
(山西太原 030001)

【摘要】目的 探讨双层探测器光谱CT参数在肺孤立性良恶性结节中的诊断价值。方法 2019年9月至2021年6月回顾性连续纳入孤立性肺结节58例，于手术或治疗前行双期双能CT扫描，58例肺结节均有病理结果。基于双能CT碘图和有效原子序数图，对病灶及周围肺组织进行碘浓度(IC)及有效原子序数(E-ff Z)的定量测量，IC采用标准化碘浓度(NIC)。将以上定量数据采用独立样本t检验和秩和检验，在肺良恶性两组之间进行组间比较。受试者曲线特征(ROC)评价诊断实验准确性。结果 58例肺结节中，43例恶性结节，15例良性结节。对于结节内部，动脉期NIC在两组之间差别具有统计学意义，恶性组高于良性组，静脉期NIC与平扫E-ff Z在两组间差别无统计学意义。对于良恶性结节邻近肺组织灌注的影响，动、静脉期病灶侧IC、E-ff Z及对应差值在两组间差别均有统计学意义。病灶周围肺组织灌注动脉期两侧差值曲线下面积最大。结论 光谱CT参数在肺良恶性结节鉴别诊断中有一定价值。

【关键词】双能CT；碘密度；有效原子序数；肺结节；鉴别诊断

【中图分类号】R4

【文献标识码】A

【基金项目】工业和信息化部办公厅 国家卫生健康委办公厅先进医疗装备应用示范项目(第二批)(2018MHD102006)
“X射线计算机断层摄影装备(CT)应用示范项目”

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.02.025

Diagnostic Value of Dual-Detector Spectral CT in Solitary Benign and Malignant Pulmonary Nodules*

ZHANG Nan¹,TIAN Bing²,TIAN Xiao-juan²,QIAO Ying^{2,*}.

1.Department of Medical Imaging,Shanxi Medical University,Taiyuan 030001,Shanxi Province,China

2.Department of Imaging ,the First Affiliated Hospital of Shanxi Medical University ,Taiyuan 030001,Shanxi Province,China

ABSTRACT

Objective To investigate the diagnostic value of dual detector spectral CT parameters in solitary benign and malignant pulmonary nodules. **Methods** From September 2019 to June 2021,58 patients with isolated pulmonary nodules were retrospectively and consecutively enrolled. Dual-phase dual-energy CT scans were performed before surgery or treatment. Pathological results were found in all 58 patients with pulmonary nodules.Quantitative measurement of iodine concentration (IC) and effective atomic number (E-FF Z) in lesions and surrounding lung tissues was carried out based on dual-energy CT iodine map and effective atomic number map. The above quantitative data were compared between benign and malignant lung groups by independent sample T-test and rank-sum test. Diagnostic accuracy was evaluated by receiver operating characteristic (ROC) analysis. **Results** Among 58 pulmonary nodules,43 were malignant and 15 were benign.For the inside of nodule,the difference of standardized iodine concentration in arterial phase between the two groups was statistically significant ,the standardized iodine concentration in malignant group was higher than that in benign group,NIC in venous phase and plain scan E-FF Z were no statistically significant difference in between the two groups.As for the influence of pulmonary perfusion adjacent to benign and malignant nodules,IC and E-FF Z at the lesion side at the arteriovenous stage had statistical significance between the two groups,and the difference of quantitative data at the corresponding position between the lesion side and the opposite side also had statistical significance.The area under the difference curve of peripheral lung tissue was the largest during arterial perfusion. **Conclusion** Spectral CT parameters have certain value in differential diagnosis of benign and malignant pulmonary nodules.

Keywords: Dual-Energy CT; The Density of Iodine; Effective Atomic Number; Pulmonary Nodules; Differential Diagnosis

孤立性肺结节(solitary pulmonary nodules ,SPN)是指单发于肺实质内、直径≤3cm的病变。在SPN中，有一部分SPN可以代表早期肺癌，此刻手术切除比大病变更生存率更高^[1]。但是不是所有的SPN都是肺癌，随着许多国家采用基于低剂量计算机断层扫描(LDCT)的肺癌筛查规划，SPN的患者数量在大幅增加^[2]。因此SPN的准确诊断是一项持续的诊断挑战，并伴随着巨大的医疗成本^[3]。以往研究已证实，对于肺部良恶性结节的鉴别，常规CT基于形态学特征和强化程度的分析发挥着巨大的作用^[4]，但是值得注意的是，肺良恶性结节的特征仍存在一定的重叠，导致误诊。近年来，双层探测器光谱CT(DECT)因其多参数成像为肺部良恶性病变的诊断提供了新的工具。双能CT可以生成物质分解图像，碘图的碘密度及有效原子序数图的有效原子序数可以反映病变的强化程度、血管丰富程度及物质成分的信息^[5]，已应用于评估肺磨玻璃结节浸润性^[6, 7]、孤立性良恶性结节鉴别诊断^[8-11]及肺癌远端肺组织灌注缺损^[12]。因此本研究目的在于探索双能CT碘图及有效原子序数图的定量分析是否对于肺孤立性结节良恶性鉴别有价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集2019年9月至2021年6月于山西医科大学第一医院行胸部或胸腹部双能CT双期增强扫描并有明确病理活检的肺结节58例。由于该研究为回顾性研究，因此患者知情同意书舍弃。为避免容积效应，所纳入结节直径均大于8mm。排除标准：病灶无法准确测量；影像及病理数据不充分；结节大于3cm；结节为磨玻璃密度；检查前已经过治疗。

1.2 检查方法 入组病人检查在IQon Spectral CT(Philips Healthcare,Best,The Netherlands)进行。平卧位扫描，于一次屏气吸气末获取图像，扫描范围为肺尖至肺底。管电压120kVp，管电流采用自动控制技术自动调节，旋转时间0.5s，螺距0.969。增强扫描采用高压注射器于肘正中静脉以2.5-3.5mL/s流速注射碘克沙醇，用量依据患者体重计算1-1.2mL/kg，随后按同样流速注射40ml生理盐水，分别于注射对比剂后25-30s、65-70s获取动脉期、静脉期图像。

1.3 图像分析 采用Philips IntelliSpace Portal工作站进行后处理，以0.9mm或1mm层厚进行重建，获取碘图及有效原子序数图。采用感兴趣区域(region of interest, ROI)对病灶内部、周围及对侧肺组织、同层主动脉碘浓度IC(动、静脉)及有效原子序数E-ff

【第一作者】张楠，女，硕士研究生，主要研究方向：胸部影像诊断。E-mail: 528014232@qq.com

【通讯作者】乔英，男，主任医师，主要研究方向：胸腹部影像诊断。E-mail: 15103462912@163.com

Z(平扫、动静脉期)的测量,在病灶显示最清晰、最大径的层面放置ROI;ROI尽可能远离血管及周围支气管的影响,通过复制粘贴的方式保证ROI大小不变。由两名具有5-10年影像诊断经验的医师确定ROI的大小及位置,每次测量三次在三个连续层面上,取平均值作为最终结果,当前两位医师意见不一致时,由两名医生协商解决。为减小血流动力学影响,用标准化碘浓度(NIC)表示病灶内部血供情况, $NIC = \text{病灶内碘浓度} / \text{同层主动脉碘浓度} (IC_{lea} / IC_{aor})$,见图1和图2。

1.4 统计学方法 所有数据由SPSS 26.0软件进行统计分析。将数据进行正态性检验,符合正态分布的定量资料采用t检验,不符合均采用秩和检验,定性资料采用卡方检验,以上数据在肺结节良恶性两组间比较, $P < 0.05$ 具有统计学意义。

2 结果

2.1 临床特征 58例肺结节中,良性结节15例,恶性结节43例。两组之间年龄、性别、吸烟史均无统计学差异(表1)。

2.2 肺良恶性结节病灶内部碘浓度及有效原子序数比较 肺恶性结节NICA高于良性结节,两组间比较差别有统计学意义,而NICV和Z平两组间数值相近,差别无统计学意义(表2)。

2.3 肺良恶性结节以远肺组织IC、Z及对侧同层水平肺组织IC、Z比较 动、静脉期病灶侧肺组织碘浓度、有效原子序数以及

病灶侧与对侧肺组织差值均有统计学意义(表3)。

2.4 用受试者工作特征曲线分析诊断准确率的比较 将上述有统计学意义的参数绘制ROC曲线,进行诊断效能的比较,结果如下(图3),病灶周围肺组织与对侧健康肺组织IC差值曲线下面积最大($AUC = 0.880, 95\%$ 置信区间CI 0.783-0.977)。

表1 肺良恶性结节临床特征比较

临床特征	恶性结节(n=43)	良性结节(n=15)	P值
年龄	62.33±8.61	51.93±18.74	0.055
性别	男30(69.8%) 女13(30.2%)	男10(66.7%) 女5(33.3%)	1.000
吸烟史	吸烟22(51.2%)	吸烟7(46.7%)	0.764

注:定量资料用均数±标准差表示,定性资料用频数(百分比)表示。

表2 肺良恶性结节病灶内部IC及Z比较

组别	恶性结节(n=43)	良性结节(n=15)	P值
NICA	0.11±0.08	0.07±0.03	0.030
NICV	0.36±0.15	0.30±0.11	0.167
Z平	7.45±0.10	7.49±0.13	0.291

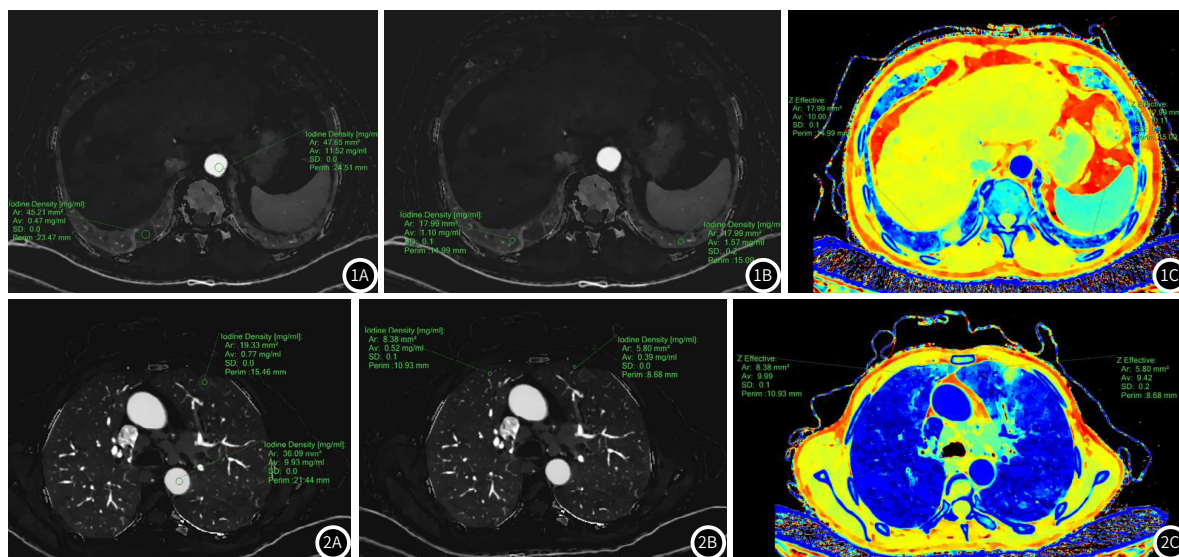


图1 男,63岁,右肺下叶软骨质错构瘤。动脉期(A-C):A,病灶内部IC和同层主动脉IC($IC_{lea} = 0.47 \text{ mg/ml}$, $IC_{aor} = 11.52 \text{ mg/ml}$)。B、C,病灶周围及对侧同位置肺组织IC和E-ff Z($ICA_{患} = 1.10 \text{ mg/ml}$, $ICA_{健} = 1.57 \text{ mg/ml}$, $ZA_{患} = 10.00$, $ZA_{健} = 10.11$)。图2 男,63岁,左肺上叶腺癌。动脉期(A-C):A,病灶内部IC和同层主动脉IC($IC_{lea} = 0.77 \text{ mg/ml}$, $IC_{aor} = 9.93 \text{ mg/ml}$)。B、C,病灶周围及对侧同位置肺组织IC和E-ff Z($ICA_{患} = 0.39 \text{ mg/ml}$, $ICA_{健} = 0.52 \text{ mg/ml}$, $ZA_{患} = 9.42$, $ZA_{健} = 9.99$)。

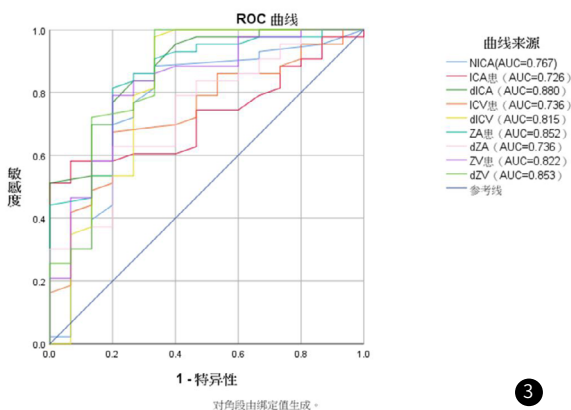


图3 基于双能CT碘浓度及有效原子序数绘制ROC,用于评价各项参数对于肺孤立性良恶性结节的诊断效能。

3 讨论

双能CT的多参数成像为病变诊断提供了形态学和功能学的双重作用。一些研究已表明碘图相关参数在肺良恶性结节鉴别、区分来源于不同肿瘤的肺转移结节、肺癌的病理分型等方面有一定的诊断价值。双能CT有效原子序数图可以反映物质成分,图像的色彩变化更直接表明物质之间的差异,不同的有效原子序数代表着每个特定的物质^[12-14]。

在该研究中,首先对于肺孤立性良恶性结节内部特征进行基于碘图的定量测量,结果表明在动脉期病灶内部碘浓度对于良恶性结节鉴别有一定价值,这与以往研究表示一致^[15]认为恶性结节碘浓度高于良性结节,可能是由于恶性结节富血供的特点。还有研究认为肺结节内碘浓度的增加要比PET-CT葡萄糖摄取增加要早,也使双能CT成为评估肺小结节的特异工具^[16]。

在正常的肺组织中,当患者采取仰卧位时,左侧肺由于重力作用血流相对大于右侧肺。SUN等^[12]证实碘浓度可以反映肺组织血流灌注,中央型肺癌远端肺实质碘浓度低于对侧健康肺组织的相应区域,并认为这可能是因为附近肿瘤刺激血管内膜增生或纤维化以及血管对于邻近支气管压迫组织缺氧,造成动脉代偿性灌

表3 肺良恶性结节以远肺组织IC、Z及对侧同层水平肺组织IC、Z比较

组别	恶性结节(n=43)	良性结节(n=15)	P值
ICA患	0.64±0.59	0.99±0.31	0.044
ICA健	1.42±0.70	1.15±0.42	0.180
dICA	-0.38±0.31	-0.12±0.24	<0.001
ICV患	0.50±0.21	0.69±0.27	0.022
ICV健	0.78±0.26	0.73±0.24	0.575
dICV	-0.17±0.16	-0.02±0.27	<0.001
ZA患	9.35±0.49	10.33±0.63	<0.001
ZA健	10.42±0.43	10.81±0.74	0.081
dZA	-1.01±0.75	-0.56±0.76	0.007
ZV患	8.83±0.36	9.37±0.61	0.002
ZV健	9.46±0.61	9.33±0.39	0.560
dZV	-0.52±0.50	-0.08±0.49	<0.001

注：ICA患、ICV患(ZA患、ZV患)：动、静脉期病灶侧肺组织碘浓度(有效原子序数)，ICA健、ICV健(ZA健、ZV健)：动、静脉期对侧同水平肺组织碘浓度(有效原子序数)，dICA、dICV(dZA、dZV)：动静脉期病灶侧肺组织碘浓度与对侧肺组织碘浓度(有效原子序数)差值。

注减少。该研究基于双能CT碘图及有效原子序数图对肺结节周围肺组织进行定量分析，结果表明在肺良恶性结节之间对于肺组织的影响存在一定差异，对病灶定性诊断有一定价值。

该研究的局限性：(1)样本量有限，未对肺良恶性结节组进行细分比较；(2)对于碘浓度反映病灶周围肺组织的灌注缺损未与金标准肺灌注显像进行比较；(3)对于肺各项指标将来可在三维成像上测量，使结果更具客观性。

4 结 论

双能CT碘图及有效原子序数图因其对于物质较好的敏感性可以在一定程度上对于肺良恶性结节的鉴别提供一定的帮助。

参考文献

[1]Tanner N T,Dai L,Bade B C,et al.Assessing the generalizability of the national lung screening trial:comparison of patients with stage 1 disease[J]. Am J Respir Crit Care Med,2017, Sep, 1, 196 (5): 602-608.

[2]National Lung Screening Trial Research Team,Aberle DR,Adams AM,Berg CD,et al.Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening[J]. N Engl J Med,2011,Aug, 4, 365 (5): 395-409.

[3]Barnett P G,Ananth L,Gould M K.Veterans affairs positron emission tomography imaging in the management of patients with solitary pulmonary nodules (VA SNAP) cooperative study group.Cost and outcomes of patients with solitary pulmonary nodules managed with PET scans[J]. Chest,2010, Jan; 137 (1): 53-9.

[4]Snoeckx A,Reyntiens P,Desbuquoit D,et al.Evaluation of the solitary pulmonary nodule: size matters, but do not ignore the power of morphology[J]. Insights Imaging, 2018, Feb; 9 (1): 73-86.

[5] 双层探测器光谱CT临床应用中国专家共识(第一版) [J]. 中华放射学杂志, 2020, 54 (7): 635-643.

[6]Son J Y,Lee H Y,Kim J H,et al.Quantitative CT analysis of pulmonary ground-glass opacity nodules for distinguishing invasive adenocarcinoma from non-invasive or minimally invasive adenocarcinoma: the added value of using iodine mapping[J]. Eur Radiol, 2016, Jan; 26 (1): 43-54.

[7]Chu Z G,Li W J,Fu B J,et al.CT characteristics for predicting invasiveness in pulmonary pure ground-glass nodules[J]. AJR Am J Roentgenol, 2020 Aug; 215 (2): 351-358.

[8]Zegadho A,Zabicka M,Kania-Pudko M,et al.Assessment of solitary pulmonary nodules based on virtual monochrome images and iodine-dependent images using a single-source dual-energy CT with fast kVp switching[J]. J Clin Med, 2020 Aug 4; 9 (8): 2514.

[9]Sun Y S,Zhang X Y,Cui Y,et al.Spectral CT imaging as a new quantitative tool? Assessment of perfusion defects of pulmonary parenchyma in patients with lung cancer[J]. Chin J Cancer Res, 2013, Dec; 25 (6): 722-8.

[10]Zhang Y,Cheng J,Hua X,et al.Can spectral CT imaging improve the differentiation between malignant and benign solitary pulmonary nodules? [J]. PLoS One, 2016, Feb, 3; 11 (2): e0147537.

[11]傅文悦,朱广辉. Revolution CT能谱成像技术对不同性质肺结节鉴别诊断价值的应用研究 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19 (6): 58-61.

[12]Kargaltmcaba M,Aktaş A.Dual-energy CT revisited with multidetector CT: review of principles and clinical applications[J]. Diagn Interv Radiol, 2011 Sep; 17 (3): 181-94.

[13] 夏平,陈刚,郝敬明,等. 能谱CT扫描技术在肺良恶性病变鉴别诊断中的初步研究 [J]. 实用放射学杂志, 2015, 31 (3): 473-476.

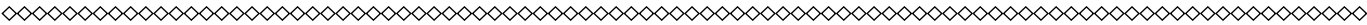
[14] 宁先英,李浩,杨明,等. CT能谱定量分析对肺腺癌与鳞癌的鉴别诊断价值 [J]. 放射学实践, 2017, 32 (3): 237-241.

[15]Xiao H,Liu Y,Tan H,et al.A pilot study using low-dose spectral CT and ASIR(adaptive statistical iterative reconstruction)algorithm to diagnose solitary pulmonary nodules[J]. BMC Med Imaging, 2015, 15: 54.

[16]Zegadho A,Zabicka M,Kania-Pudko M,et al.Assessment of solitary pulmonary nodules based on virtual monochrome images and iodine-dependent images using a single-source dual-energy CT with fast kVp switching[J]. J Clin Med, 2020, Aug, 4; 9 (8): 2514.

(收稿日期：2021-10-25)

(校对编辑：何镇喜)



(上接第 42 页)

本研究局限性，第一：未对鼻咽部较小病灶的检出进行评估；第二：未比较大病灶的显示范围在三个序列中的差异。后期我们将对病灶的检出及显示范围进行评估，同时结合动态增强图像对不同分期的鼻咽癌患者治疗疗效进行评价。

本研究对比了三组DWI序列在鼻咽部的成像，证明TSE-XD-MV-DWI序列可在消除鼻咽部几何变形伪影并且采集时间没有明显增加的基础上，大幅提高信噪比，使鼻咽部黏膜显示更加清晰，有助于鼻咽部微小结构的显示，为临床诊断提供了更加清晰的组织细节结构。

参考文献

[1]chenever T L,MeyerC R,MoffatB A,et al.Diffusion MRI:a new strategy for assessment of cancer therapeutic efficacy[J]. Mol Imaging, 2002, 1(4): 336-343.

[2]Huang M Q,Pickup S,Nelson D S,et al.Monitoring responseto chemotherapy of non-Hodgkin's lymphoma xenografts by T(2)-weighted and diffusion-weighted MRI[J]. NMR Biomed, 2008, 21 (10): 1021-1029.

[3]Charles-Edwards E M,deSouza N M.Diffusion-weightedmagnetic resonance imaging and its application to cancer[J]. Cancer Imaging, 2006, 6 (1): 135-143.

[4]Verhappen M H,Pouwels P J,Ljumanovic R,et al.Diffusion-weighted MRimaging in head and neck cancer:Comparison between half-fourier acquired single-shot turbo spin echo and EPI techniques[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2012, 33 (7): 1239-1246.

[5]Mikayama R,Yabuuchi H,Sonoda S,et al.Comparisonof intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging between turbo spin-echo and echo-planar imaging of the head andneck[J]. Eur Radiol, 2018, 28: 316-324.

[6] 许春苗,袁军辉,陈学军,等. 比较3.0T MRI读出方向上的分段扩散成像技术与平面回波扩散加权成像技术对鼻咽癌的诊断价值[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50 (8): 586 -589.

[7] 俱增武. 磁共振不同扫描方式对鼻咽癌早期诊断的临床价值 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2018, 16 (11): 33-35.

[8]Cao S M,Simons M J,Qian C N,et al.The prevalence andprevention of nasopharyngeal carcinoma in China[J]. Chin Jcancer, 2011, 30 (2): 114-119.

[9] 俞家熙,李新春,万齐,等. TSE-DW序列对鼻咽部病变的诊断价值 [J]. 现代医院, 2018, 18 (2): 301-304.

[10]Schick F.SPLICE:Sub-second diffusion-sensitive MR imaging using a modified fast spin-echo acquisition mode[J]. Magn Reson Med, 1997, 38 (4) 638-644.

[11]Zennaro M C,SouqueA,ViengchareunS,et al.A new human MR splice variant is a ligand-independent transactivator modulating corticosteroid action[J]. Mol Endocrinol, 2001, 15 (9) 1586-1598.

[12]JunichiroS,YoshinoNorio,OkochiKiyoshi,et al.Tissue characterization of head and neck lesions using diffusion-weighted MR imaging with SPLICE[J]. EEur J Radiol, 2009, 69 (2): 260-268.

[13]Tsuyoshi Ohshita.Basic examination of an imagecharacteristic in Multivane[J] Nihon Hoshasen Gakkai Zasshi, 2011, 67 (10): 1298-1303

[14]Thoeny H C,De Keyzer F,King A D.Diffusion-weighted MRimaging in the head and neck[J]. Radiology, 2012, 263 (1): 19-32.

[15]Yoshizako T,Wada A,Uchida K,et al.Apparent diffusioncoefficient of line scan diffusion image in normal prostate andprostate cancer—comparison with single-shot echo plannerimage[J]. MagnReson Imaging, 2011, 29 (1): 106-110.

[16]Vandecaveye V,Dirix P,De Keyzer F,et al.Diffusion-weighted magnetic resonance imaging early afterchemoradiotherapy to monitor treatment response inhead-and-neck squamous cell carcinoma[J]. Int J RadiatOncol BiolPhys, 2012, 82 (3): 1098-1107.

[17] 闫凤全,彭霞,李伟等. MRI弥散加权成像对鼻咽癌T分期的应用研究 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2017, 11: 45-48.

(收稿日期：2021-08-11)

(校对编辑：阮 靖)