

· 头颈部影像学 ·

3.0T 磁共振 ADC 值及 DCE-MRI 定量分析对颈部良恶性淋巴结鉴别诊断

满育平, 马隆佰, 吴春梅, 周平婷, 韦强

【摘要】 目的:评估 3.0T 磁共振 ADC 值及 DCE-MRI 定量分析对颈部良恶性淋巴结鉴别诊断的价值。方法:回顾性分析 70 例(254 枚淋巴结)经病理确诊或临床治疗随访证实的颈部淋巴结病变(良性 30 例,104 枚;恶性 40 例,150 枚)的 3.0T 磁共振 ADC 值和 DCE-MRI 的定量参数影像资料,评估影像资料中各项指标的诊断效能。结果:①良性淋巴结的平均 ADC 值为 $1.285 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,恶性 $0.800 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,颈部良恶性淋巴结的平均 ADC 值差异性具有统计学意义($P < 0.05$);ADC 值以 $0.927 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 为阈值,鉴别诊断颈部良恶性淋巴结敏感度 88.5%、特异度 76.0%、准确率 89.6%。②DCE-MRI 的定量参数中,良性淋巴结 Ktrans、Kep 值低, Ve 值高;恶性淋巴结 Ktrans、Kep 值高, Ve 值低,颈部良恶性淋巴结的 Kep、Ve 值差异性具有统计学意义($P < 0.05$);Ve 以 0.608 为阈值,鉴别诊断敏感度 78.8%、特异度 80.0%、准确率 82.4%;③颈部良恶性淋巴结的平均 ADC 值、Kep、Ve 值三者具有相关性。结论:3.0T 磁共振 ADC 值及 DCE-MRI 的定量参数对颈部良恶性淋巴结鉴别诊断具有很高的临床应用价值。

【关键词】 扩散磁共振成像; 磁共振动态增强成像; 颈部淋巴结

【中图分类号】 R445.2; R322.25; R739.91 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2019)06-0619-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.06.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The differential value of ADC and quantitative parameters of DCE-MRI at 3.0T in diagnosing benign and malignant cervical lymph nodes MAN Yu-ping, MA Long-bai, WU Chun-mei, et al. MR Department, the People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the differential value of ADC and the quantitative parameters of DCE-MRI at 3.0T in diagnosing benign and malignant cervical lymph nodes. **Methods:** The ADC and quantitative parameters of DCE-MRI of 254 lymph nodes in 70 patients were retrospectively analyzed, including 104 benign lymph nodes from 30 cases and 150 malignant lymph nodes from 40 cases. All cases were diagnosed by pathology or clinical treatments. **Results:** ① The average ADC value of benign lymph nodes was $1.285 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, whereas $0.800 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ for malignant lymph nodes. There was a statistical difference in ADC value between benign and malignant cervical lymph nodes ($P < 0.05$). The threshold of the average ADC value at $0.927 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ had sensitivity 88.5%, specificity 76.0%, and accuracy 89.6% in diagnosing benign and malignant cervical lymph nodes. ② The benign lymph nodes had lower Ktrans, Kep and higher Ve values, while the malignant lymph nodes showed higher Ktrans, Kep and lower Ve values. There were statistically significant differences for the Kep and Ve value between benign and malignant lymph nodes ($P < 0.05$). The threshold of the Ve value at 0.608 has sensitivity 78.8%, specificity 80.0%, accuracy 82.4% in diagnosing benign and malignant cervical lymph nodes. ③ The average ADC, Kep and Ve values of benign and malignant cervical lymph nodes were associated with each other. **Conclusion:** The ADC and quantitative parameters of DCE-MRI at 3.0T in differential diagnosis of benign and malignant cervical lymph nodes are clinically applicable.

【Key words】 Diffusion magnetic resonance imaging; Magnetic resonance dynamic enhancement imaging; Cervical lymph nodes

作者单位:530021 桂林兴安县,广西壮族自治区人民医院

作者简介:满育平(1975-),男,广西兴安人,副主任医师,主要从事头颈部 MR/CT 影像诊断工作。

通讯作者:马隆佰, E-mail:1223748684@qq.com

基金项目:广西壮族自治区卫生厅项目(Z2016612)

颈部淋巴结肿大是临床的常见症状,治疗前的影像学定性诊断是临床治疗的重要依据^[1]。MRI具有软组织分辨率高、无创伤等特点,目前已成为颈部影像检查的主要手段之一,既往较多文献采用常规MRI对颈部良恶性淋巴结的形态学特征(部位、大小、形态、数量、边界等)的差异性进行了详细的描述^[2,3],近年扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)在颈部淋巴病变报道亦逐渐增多^[4],而采用动态对比增强磁共振成像(dynamic contrast enhanced, DCE-MRI)在颈部良性淋巴结鉴别诊断的报道相对较少,尤其采用DWI与DCE-MRI共同研究更为少见。本文通过回顾性分析颈部良恶性淋巴结病变的3.0T磁共振ADC值、DCE-MRI的定量参数影像资料,分析各自的影像特点,旨在为临床提供更准确的诊断依据。

材料与方法

1. 一般资料

搜集2016年5月—2018年4月的颈部淋巴结肿大患者70例(男46例、女24例,年龄17~74岁,平均年龄45.7岁)的3.0T磁共振ADC值、DCE-MRI的定量参数影像学资料。良性淋巴结30例(104枚),其中淋巴结结核16例(62枚),淋巴结炎8例(23枚),反应性淋巴结增生6例(19枚)。恶性淋巴结40例(150枚),其中鼻咽癌淋巴结转移28例(108枚),扁桃体癌2例(7枚),喉癌3例(8枚),甲状腺癌3例(6枚),淋巴瘤4例(21枚)。病例纳入标准:①检查前未针对颈部淋巴病变进行外科治疗;②检查序列完整,包括常规MR、DWI及DCE-MRI;③图像清晰,无影响诊断伪影;④淋巴结中央大部分坏死致无法测量者不纳入本组。⑤有病理结果或临床治疗随访证实。所有受检者均签署知情同意书。

2. MR设备及扫描方案

采用Siemens Skyra 3.0T超导磁共振仪,轴面DWI序列:采用单次激励自旋平面回波像,TR 13000 ms, TE 98 ms,视野229 mm×229 mm, b值取0、600、800和1000 s/mm²,层厚5 mm,间距0.5 mm; DCE-MRI序列:采用三维容积内插快速扰相梯度回波序列,TR 5.08 ms, TE 1.85 ms,翻转角150°,视野229 mm×229 mm,层厚5 mm,间距0.5 mm。参照常规MRI平扫图像,以目标淋巴结为中心平扫2个序列后高压注射器经肘静脉团注注入Gd-DTPA对比剂,随后追加20 mL生理盐水冲管,连续40个序列的动态增强扫描。对比剂剂量0.2 mmol/kg,注射流率2.0 mL/s,总时间5 min 15 s。

3. 图像处理

由2名中级以上放射科医师独立分析影像资料,

对测量数值进行kappa检验一致性较好取平均值。DWI观察指标:不同b值的DWI信号、表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值测定。DCE-MRI运用Siemens Syngo MMWP (Syngo Multi-Modality Workplace)工作站中Tissue 4D软件包Tofts两室模型进行动态分析,观察指标包括:容量转移常数(Ktrans)、速率常数(Kep)、血管外细胞外间隙容积比(Ve)等3个定量参数。同一病例测量ADC值参照DCE-MRI的感兴趣区(region of interest, ROI)的位置及大小,取在实质病灶动态增强图像强化最明显区域,避开肿瘤内的囊变、坏死区,ROI大小约30~36 mm²,以b=800 s/mm²测量ADC值3次取均值。

4. 统计学分析

采用SPSS 19.0统计软件进行分析。对颈部良恶性淋巴结两组间ADC值与Ktrans、Kep、Ve值进行正态检验后,所得参数均符合正态分布,遂各组间ADC值、Ktrans、Kep、Ve值的均值比较采用独立样本t检验,t检验比较结果中差异有统计学意义的ADC与Kep、Ve之间的比较采用直线相关分析;以ADC与Kep、Ve值诊断颈部良恶性淋巴结的敏感性和特异性为研究对象,绘制受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)来确定对颈部良恶性淋巴结的诊断效能。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

颈部良恶性淋巴结的ADC值、DCE-MRI定量参数Ktrans、Kep、Ve值比较如表1。

表1 颈部良恶性淋巴结ADC值、Ktrans、Kep、Ve值两样本比较

类型	良性	恶性	t值	P值
ADC值(mm ² /s)	1.285±0.486	0.800±0.191	0.685	0.000
Ktrans(min ⁻¹)	0.486±0.342	0.528±0.496	-0.499	0.619
Kep(min ⁻¹)	0.695±0.500	1.162±1.033	-2.889	0.005
Ve(mL/100mL)	0.715±0.177	0.485±0.178	6.545	0.000

本研究组颈部良恶性淋巴结ADC均值分别为 1.285×10^{-3} mm²/s(图1a), 0.800×10^{-3} mm²/s(图2a),两两比较差异有统计学意义($t=6.685, P=0.000$)。ROC曲线分析显示为ADC以 0.927×10^{-3} mm²/s为阈值,DWI鉴别诊断颈部良恶性淋巴结敏感度88.5%、特异度76.0%、准确率89.6%(图3)。DCE-MRI定量参数分析中,良性淋巴结的Ktrans、Kep值低, Ve值高(图1b),病理图片上显示细胞外间隙宽(图1c);而恶性淋巴结的Ktrans、Kep值高, Ve值低(图2b),病理图片显示细胞外间隙相对较窄(图2c)。两者的Kep、Ve值差异有统计学意义($P < 0.05$),Ktrans值之间差异均无统计学意义($P < 0.05$)。Ve以0.608为阈值,鉴别诊断敏感度78.8%、特异度80.0%、准确率82.4%(图3);Kep以 0.941 min^{-1}

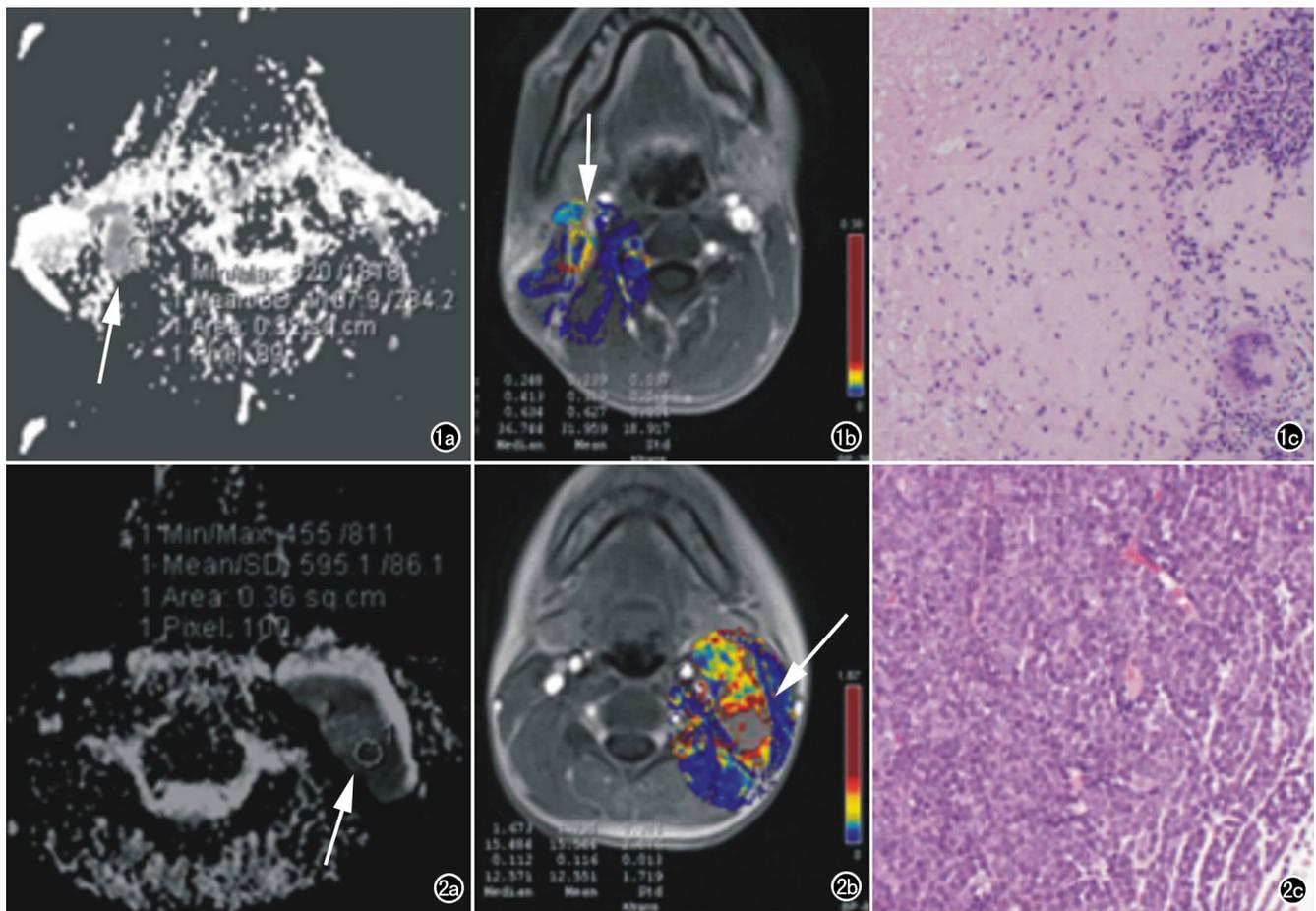


图1 颈部淋巴结结核。a) ADC值(1.108±0.284)×10⁻³mm²/s(箭); b) 结核灶ROI的Ktrans伪彩图示病灶内以蓝色为主的混杂染色改变,表现为病灶具有相对较低的Ktrans值的特点,Ktrans值为0.389min⁻¹; c) 结核灶病理(HE×200)示细胞外间隙宽。

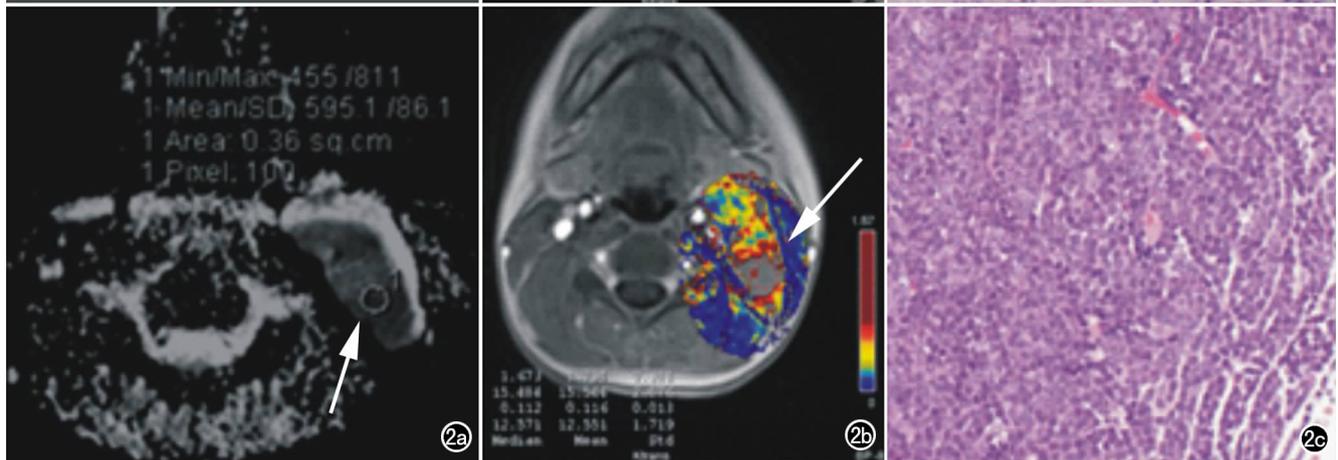
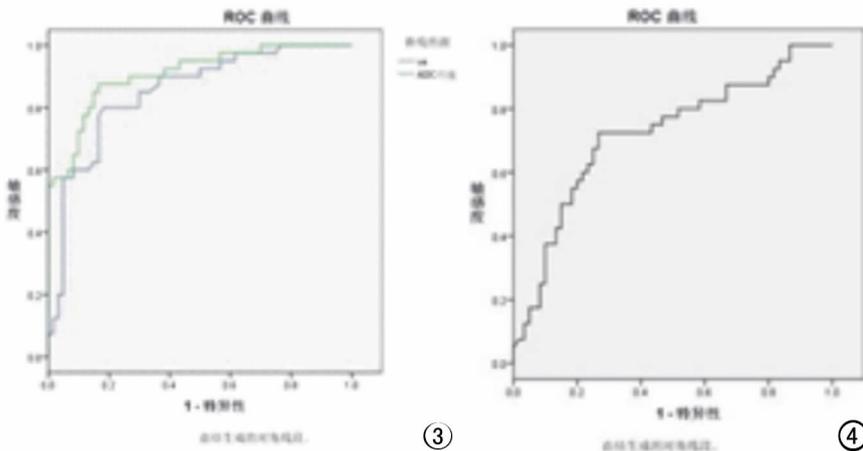


图2 颈部淋巴瘤。a) ADC图上信号较低,病灶ROI的ADC



值(0.595±0.086)×10⁻³mm²/s(箭); b) 淋巴瘤灶ROI的Ktrans值伪彩图示病灶内以红色为主的混杂染色改变,表现为病灶具有相对较高的Ktrans值的特点,Ktrans值为15.544min⁻¹(箭); c) 淋巴瘤病理(HE×200)示细胞外间隙窄。图3 ADC值与Ve值诊断颈部良恶性淋巴结的敏感性和特异性的ROC曲线。

图4 Kep值诊断颈部良恶性淋巴结的敏感性和特异性的ROC曲线。

为阈值,两者鉴别诊断敏感度19.2%、特异度64.0%、准确率30.4%(图4);ADC值联合Ve值诊断颈部恶性淋巴结敏感度64%、特异度69.2%、正确率66.1%、阳性预测值98%、阴性预测值88.9%、假阳性率1.9%、假阴性率6%;ADC值联合Kep、Ve值诊断颈部恶性淋巴结敏感度18%、特异度62.2%、正确率89%、阳性预测值100%、阴性预测值95.4%、假阳性率0%、假阴性率2%。

本研究组颈部良恶性淋巴结ADC与Kep、Ve值的直线相关性分析如表2。

表2 颈部良恶性淋巴结的ADC、Kep、Ve值的相关性分析

自变量/因变量	相关系数(r)	P值
ADC		
Kep	-0.206	0.039
Ve	0.335	0.001
Kep		
Ve	-0.249	0.012

颈部良恶性淋巴结组的 ADC 与 K_{ep} 相关性分析, $r = -0.206$, $P = 0.039$; ADC 与 V_e 相关性分析, $r = 0.335$, $P = 0.001$; K_{ep} 与 V_e 相关性分析, $r = -0.249$, $P = 0.012$ 。两两间均有统计学意义 ($P < 0.05$), 显示 ADC 和 K_{ep} 、 V_e 值联合应用对颈部良恶性淋巴结影像学诊断有较强相关性。

讨 论

常规 MRI 通过分析颈部淋巴结的部位、大小、形态、数量、边界、内部信号等方式, 能对颈部淋巴结的良恶性作出初步判断。恶性淋巴结的大小多 > 2 cm, 某一区域的淋巴结数 > 3 枚提示恶性, 病变边缘毛糙, 突破包膜提示恶性, 病变内出现坏死灶提示恶性^[5]。参照欧洲放射肿瘤学协会 2013 年颈部淋巴结分区标准^[6], 对于疑似转移性淋巴结的病变, 常规 MRI 可以根据颈部特定区域的淋巴结引流范围, 找到原发病灶。然而一些良性淋巴结同样也可以出现以上诸多特征(如结核)^[7], 常规 MRI 对良恶性淋巴结的判断指标中存在较多重叠性, 需要从其他 MR 序列中提供更多的诊断数据。

DWI 从微观角度观察人体组织间水分子交换的状态, 不仅能提供病变组织的信号特点, 也可以通过 ADC 值来定量分析不同病理学特征的颈部淋巴结性质。Xing 等^[4,8]报道 ADC 值的差异可作为指导临床对颈部良恶性淋巴结评估及预测的一个重要指标。国内文献报道中不同 b 值上的 ADC 值测量的数值存在一定的偏差^[9], 临床研究中没有形成统一的界定数值。本组研究以 b 值 800 s/mm^2 , DWI 图信噪比较好, 图像观察较为满意。以 b 值 800 s/mm^2 测量 ADC 值诊断颈部良恶性淋巴结的效能较高, 与于红梅等^[10]报道较为一致; 本组研究结果显示颈部良性淋巴结的 ADC 均值为 $1.285 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 颈部恶性淋巴结的 ADC 均值为 $0.800 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 颈部良性淋巴结的平均 ADC 值明显高于恶性淋巴结的平均 ADC 值^[4], 提示颈部恶性淋巴结具有 ROI 内病变组织细胞密度高、细胞核浆比例大、组织液粘稠度高, 水分子扩散受限相对明显, ADC 值相对较小的特性^[11]。ROC 曲线分析显示 ADC 以 $0.927 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 为阈值, 鉴别诊断颈部良恶性淋巴结敏感度 88.5%、特异度 76.0%、准确率 89.6%, 在颈部良恶性淋巴结诊断中具有较高的临床应用价值, 与既往研究报道的良性淋巴结 ADC 均值为 $1.072 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 恶性淋巴结 ADC 均值为 $0.875 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 较为一致^[12]。

DCE-MRI 定量分析是在静脉注射小分子顺磁性对比剂, 通过观察、分析对比剂经病变兴趣区动脉、毛细血管进入血管外组织细胞外间隙, 再由血管外组织

细胞外间隙回流到静脉的整个过程, 能快速、动态监测被检部位组织 T_1 弛豫时间动态变化数据, 同时运用假定的药代动力学模型计算出 ROI 组织灌注或微循环渗透性的血流动力学参数, 从而实现在细胞分子功能水平上反映组织血管分布、血流灌注等生理信息的作用^[13]。定量分析常用的参数有 K_{trans} 、 K_{ep} 、 V_e 值, K_{trans} 值取决于微血管生成及血管通透性; V_e 值的高低取决于微血管外组织细胞外间隙大小; K_{ep} 值反应了单位时间内对比剂回流进入微血管的量, 三者的关系为 $K_{ep} = K_{trans}/V_e$ 。在 DCE-MRI 早期, 对比剂主要分布于血管内, 信号强度与肿瘤血管生成程度与结构 (microvessel structure, MVS) 有关, 病变组织内的新生血管壁发育不完善, 血管壁间隙增宽, 从血管内进入组织细胞外间隙的对比剂量多, K_{trans} 值越大; 在动态增强晚期, 对比剂主要分布于组织细胞外间隙, 与微血管通透性和密度 (microvessel density, MVD) 有关, 微血管的密度及通透性越高, 单位时间内回流进入微血管的造影剂量越大, K_{ep} 值越大^[14]。本研究通过测量 DCE-MRI 各参数值发现良性淋巴结的 K_{trans} 、 K_{ep} 值低, V_e 值高, 而恶性淋巴结的 K_{trans} 、 K_{ep} 值高, V_e 值低, 提示恶性淋巴结 ROI 内的病变组织新生血管发育程度相对良性更不完善, 病变组织内细胞密度高, 血管外组织细胞外间隙小的特点。本研究中 K_{ep} 以 0.941 min^{-1} 为阈值, 两者鉴别诊断敏感度 19.2%、特异度 64.0%、准确率 30.4%; V_e 以 0.608 为阈值, 鉴别诊断敏感度 78.8%、特异度 80.0%、准确率 82.4%, 提示 V_e 值在定量参数分析中具有较高的敏感性和特异性, 具有较高的诊断价值, 而 K_{ep} 的作用较小, K_{trans} 值无统计学意义, 分析原因有炎症与肿瘤所引起血管内皮及功能改变等生物学行为存在类似有关^[15]。由某种抗原引起的反应性淋巴结增生, 增生滤泡间小血管增多, 血供较丰富, 而淋巴结结核增殖区内也可以发生血管闭塞性脉管炎, 管腔狭窄甚至消失, 这些因素会导致良性淋巴结内 K_{trans} 和 K_{ep} 值产生相应改变, 还有肿瘤恶性淋巴结微环境存在很大异质性, 如仅仅计算病灶的平均参数值往往不能准确反映出病灶的病理生理学信息^[16]。Issa 等^[17]以病灶内不同 K_{trans} 变量值的分布情况来代表肿瘤异质性的分布, 发现良恶性病灶间的 K_{trans} 值分布亦存在显著差异。由此可见病灶某一区域的定量参数值并不能完全反应整个病灶的代谢情况。

在颈部良恶性淋巴结影像诊断中 ADC 值应用价值得到大多研究者的肯定, 而 ADC 值联合定量动态增强参数的报道较少, 它们之间的相关性报道更少。本研究组 ADC 值联合 V_e 值诊断颈部恶性淋巴结敏感度 64%、特异度 69.2%、正确率 66.1%、阳性预测

值 98%、阴性预测值 88.9%、假阳性率 1.9%、假阴性率 6%；ADC 值联合 K_{ep} 、 V_e 值诊断颈部恶性淋巴结敏感度 18%、特异度 62.2%、正确率 89%、阳性预测值 100%、阴性预测值 95.4%、假阳性率 0%、假阴性率 2%。病变在不同病理时期所生成的新生血管数量、血管壁完善程度不一致，正常淋巴结受病变累及的范围不一致，淋巴结内出现坏死灶的大小也不一致，导致相同病理类型、相同 ROI 内测量所得 ADC、 K_{ep} 、 V_e 值的高低不一致，有待对不同类型、不同病理时期良恶性淋巴结的 DWI 和 DCE-MRI 定量参数值进一步研究。然而多个定量参数值的联合应用有效提高了对颈部恶性淋巴结的阳性预测值和阴性预测值，降低了假阳性率和假阴性率。颈部良恶性淋巴结 ADC 和 K_{ep} 、 V_e 值的直线相关分析中，ADC 与 K_{ep} 显示负相关， $r = -0.206$ ， $P = 0.039$ ；ADC 与 V_e 正相关， $r = 0.335$ ， $P = 0.001$ ； K_{ep} 与 V_e 负相关， $r = -0.249$ ， $P = 0.012$ 。两两间均有统计学意义 ($P < 0.05$)，显示颈部良恶性淋巴结的 ADC 和 K_{ep} 、 V_e 值之间有一定相关性。可能归结于颈部病变组织结构中，相同单位体积的 ROI 内恶性淋巴结具有病变组织细胞密度高、细胞核浆比例大、组织液粘稠度高，水分子扩散受限相对明显，从而导致 ADC 值相对较小，而相同单位体积内新生血管多，走行迂曲，血管壁发育不完善、间隙增宽，单位时间内从微血管进入血管外组织细胞外间隙内的对比剂量增多，回流进入微血管的量增多，相应 K_{ep} 值越高，显示 ADC 与 K_{ep} 呈负相关性；单位体积内细胞分布密集，相应组织细胞外间隙 V_e 值减少，水分子扩散受限程度高，相应的 ADC 值低，显示 ADC 值与 V_e 呈正相关性；颈部恶性淋巴结病变组织中，单位时间内从微血管进入血管外组织细胞外间隙内的对比剂量较良性多，由于 V_e 值越小，单位时间内回流进入微血管的量相应也多，显示 K_{ep} 与 V_e 值呈负相关。

本组研究 ADC 和 V_e 值在颈部良恶性淋巴结诊断中具有较高的敏感性和特异性，两者差异性具有统计学意义，ADC 和 K_{ep} 、 V_e 值之间有一定相关性，ADC 值联合 DCE-MRI 定量参数指标对良恶性淋巴结的诊断具有较好的临床应用价值。局限性在于选取的良恶性淋巴结病例类型的多样性，某一类病例的多寡影响平均值高低的变化，有待进一步对某一类型的良性或恶性淋巴结进行大数量的统计分析；其次各文献中定量分析采用的生物学模型各有不同^[18]，ROI 大小的选择差异，以及检测中时间分辨率的局限性，无法反应对比剂在整个病灶中的完全代谢情况。以上因素的影响导致对病灶组织生理特征的评价与实际可能存在误差。

参考文献：

- [1] 陈晓钟. NCCN2010 版头颈部肿瘤临床实践指南解读[J]. 肿瘤学杂志, 2010, 16(7): 511-515.
- [2] 刘妍, 夏黎明. 颈部淋巴结病变的 MRI 检查及临床意义[J]. 放射学实践, 2006, 21(5): 533-535.
- [3] 丁忠祥, 张福兴. CT、MRI 及 PET/CT 在鼻咽癌第七版 UICC 分期中的价值[J]. 中国癌症杂志, 2011, 21(12): 906-912.
- [4] Xing W, Sheng J, Chen J, et al. Relative apparent diffusion coefficient: a promising tool to differentiate metastatic from benign lymph nodes in animal models[J]. Chin Med J (Engl), 2011, 124(18): 2907-2910.
- [5] 中国鼻咽癌临床分期工作委员会. 鼻咽癌 92 分期修订工作报告[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2009, 18(1): 2-6.
- [6] Gregoire V, Ang K, Budach W, et al. Delineation of the neck node levels for head and neck tumors: a 2013 update. Dahanca, EORTC, Hkncpsg, Ncic Ctg, Ncri, Rtog, Trog consensus guidelines[J]. Radiother Oncol, 2014, 110(1): 172-181.
- [7] 樊艳青, 谭正, 黄枫, 等. 颈部淋巴结核的 MRI 和 Ct 影像特征与病理学对照分析[J]. 放射学实践, 2013, 28(6): 628-631.
- [8] 许楠, 文亮, 杨亚英. 3.0T MR ADC 值和相对 ADC 值对颈部转移性淋巴结的诊断价值[J]. 中国医学影像技术, 2013, 29(6): 903-906.
- [9] 林成武, 谢宝君. 鼻咽癌颈部淋巴结转移 MR 多 b 值 DWI 成像研究分析[J]. 临床与病理杂志, 2016, 36(8): 1187-1192.
- [10] 于红梅, 翟昭华, 马代远, 等. 3.0T 磁共振多 b 值 DWI 在鼻咽癌 N 分期中的应用[J]. 放射学实践, 2015, 30(7): 728-731.
- [11] Habermann CR, Arndt C, Graessner J, et al. Diffusion-weighted echo-planar MR imaging of primary parotid gland tumors: is a prediction of different histologic subtypes possible? [J]. AJNR, 2009, 30(3): 591-596.
- [12] 黎晓萍, 李恒国. DCE-MRI 结合 DWI 对颈部淋巴结病变的鉴别诊断价值[J]. 临床放射学杂志, 2016, 35(6): 857-861.
- [13] Khalifa F, Soliman A, El-Baz A, et al. Models and methods for analyzing DCE-MRI: a review [J]. Med Phys, 2014, 41(12): e124301.
- [14] Lee FK, King AD, Ma BB, et al. Dynamic contrast enhancement magnetic resonance imaging (DCE-MRI) for differential diagnosis in head and neck cancers[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(4): 784-788.
- [15] 廖茜, 汪俊萍, 白人驹, 等. CT 灌注成像鉴别兔腋窝炎性增生性与转移性淋巴结[J]. 中国医学影像技术, 2011, 27(12): 2423-2426.
- [16] 林奈尔, 柴伟明, 华佳. 定量动态增强 MRI 在乳腺癌中的研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2013, 36(4): 336-339.
- [17] Issa B, Buckley DL, Turnbull LW, et al. Heterogeneity analysis of Gd-DTPA uptake: improvement in breast lesion differentiation[J]. J Comput Assist Tomogr, 1999, 23(4): 615-621.
- [18] Steingoetter A, Menne D, Braren RF. Assessing antiangiogenic therapy response by DCE-MRI: development of a physiology driven multi-compartment model using population pharmacometrics[J]. PLoS One, 2011, 6(10): e26366.

(收稿日期: 2018-08-19 修回日期: 2018-10-16)