

• 腹部影像学 •

酰胺质子转移成像与 DWI 诊断宫颈鳞癌并评估其分级的对比研究

侯孟岩, 孟楠, 王竟, 刘文玲, 任继鹏, 韩东明

【摘要】目的:对比分析酰胺质子转移成像(APT)与扩散加权成像(DWI)在诊断宫颈鳞癌并评估其分级中的价值。**方法:**回顾性分析 50 例宫颈癌患者的临床及 APT、DWI 资料,根据病理类型分为腺癌组($n=11$)与鳞癌组($n=39$),并根据病理分级将鳞癌组分为低分化组($n=12$)与高中分化组($n=27$),测量宫颈癌组织的不对称性磁化转移率(MTR_{asym})、平均 ADC 值、最小 ADC 值,分别比较宫颈腺癌组与鳞癌组、宫颈鳞癌高中分化组与低分化组各参数值的差异,采用 ROC 曲线评价各参数值的诊断效能及最佳诊断阈值,并根据约登指数确定各参数相应的诊断敏感度、特异度。**结果:**宫颈鳞癌组 MTR_{asym} [(3.03 ± 0.06)%]低于宫颈腺癌组[(3.12 ± 0.05)%],平均 ADC 值、最小 ADC 值[(0.94 ± 0.03) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、(0.85 ± 0.03) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$]低于宫颈腺癌组[(0.98 ± 0.03) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、(0.88 ± 0.03) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$],差异均具有统计学意义($t = 4.35, 3.66, 3.55, P$ 值均 < 0.05);低分化宫颈鳞癌组 MTR_{asym} 值[(3.08 ± 0.03)%]高于高中分化鳞癌组[(3.00 ± 0.05)%],平均 ADC 值、最小 ADC 值[(0.92 ± 0.02) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、(0.82 ± 0.02) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$]低于高中分化鳞癌组[(0.95 ± 0.03) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、(0.86 ± 0.02) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$],差异均具有统计学意义($t = 5.37, 2.55, 4.08, P$ 值均 < 0.05);在诊断宫颈鳞癌及低分化宫颈鳞癌时, MTR_{asym} 均有最佳诊断效能, ROC 曲线下面积分别为 0.865、0.932, 以 $MTR_{asym} = 3.08\%$ 、 3.06% 为阈值, 诊断敏感度分别为 79.5%、85.2%, 特异度分别为 81.8%、83.3%。**结论:**与 DWI 相比, APT 在诊断宫颈鳞癌并评估宫颈鳞癌分级中更具优势。

【关键词】 宫颈癌; 磁共振成像; 酰胺质子转移成像; 扩散加权成像

【中图分类号】 R737.33; R445.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2021)01-0098-05

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.01.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A comparative study of amide proton transfer imaging and diffusion weighted imaging for assessing cervical squamous cell carcinoma and evaluating its histological grading HOU Meng-yan, MENG Nan, Wang Jing, et al. Department of Magnetic Resonance, the First Affiliated Hospital of Xinxiang Medical University, Henan 453100, China

【Abstract】 **Objective:** To compare the value of amide proton transfer imaging (APT) and diffusion-weighted imaging (DWI) in the diagnosis of cervical squamous cell carcinoma and evaluation of its histological grading. **Methods:** The clinical data of 50 patients with cervical cancer were recorded, and APT and DWI images were retrospectively analyzed. The patients were divided into adenocarcinoma group ($n=11$) and squamous cell carcinoma group ($n=39$) based on pathological types, and patients with squamous cell carcinoma were further divided into poorly differentiated group ($n=12$) and well/moderately differentiated group ($n=27$) according to the pathological grades. Asymmetric magnetization transfer rate (MTR_{asym}), mean and minimum ADC values were measured and compared. The diagnostic efficiency and optimal diagnostic threshold of each parameter were evaluated by ROC curve, and the corresponding diagnostic sensitivity and specificity of each parameter were determined according to the Youden index. **Results:** Compare with adenocarcinoma, the MTR_{asym} , and mean and minimum ADC values of the cervical squamous cell carcinoma were significant lower [(3.03 ± 0.06)% vs (3.12 ± 0.05)%; (0.94 ± 0.03) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ vs (0.98 ± 0.03) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; (0.85 ± 0.03) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ vs

作者单位:453100 河南,新乡医学院第一附属医院核磁共振科

作者简介:侯孟岩(1994—),女,河南商丘人,硕士,住院医师,主要从事中枢神经系统与体部影像诊断工作。

通信作者:韩东明,E-mail: 625492590@qq.com

基金项目:河南省医学科技攻关计划(2018020349);河南省医学科技攻关计划(2018020357)

$(0.88 \pm 0.03) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$]. The MTR_{asym} of poorly differentiated group was significant higher than that of well/moderately differentiated group [(3.08 ± 0.03)% vs (3.00 ± 0.05)%], but the mean and minimum ADC values of poorly differentiated squamous cell carcinoma were significant lower [(0.92 ± 0.02) × 10⁻³ mm²/s vs (0.95 ± 0.03) × 10⁻³ mm²/s; (0.82 ± 0.02) × 10⁻³ mm²/s vs (0.86 ± 0.02) × 10⁻³ mm²/s]. Compared with mean and minimum ADC values, MTR_{asym} had the best diagnostic efficacy in the diagnosis of cervical squamous carcinoma and evaluation of its histological grading. The areas under the ROC curve were 0.865 and 0.932, respectively. When thresholds of MTR_{asym} were 3.08% and 3.06%, the diagnostic sensitivity was 79.5% and 85.2%, and the specificity was 81.8% and 83.3%, respectively. **Conclusion:** Compared with DWI, APT is better to diagnose cervical squamous cell carcinoma and evaluate its histological grading.

【Key words】 Cervical squamous cell carcinoma; Magnetic resonance imaging; Amide proton transfer imaging; Diffusion weighted imaging

宫颈癌是女性生殖系统中最常见的恶性肿瘤之一,其发病率逐年增高,发病人群逐渐趋于年轻化,严重威胁女性的生命健康^[1]。宫颈鳞癌是宫颈癌最常见的病理类型,其病理分级影响患者治疗方式的选择及预后情况。临幊上常采用活检的方法诊断并评估宫颈癌的病理特征,但取材有限及抽样误差等因素极易对结果造成一定影响^[2],因此需要影像手段对癌组织进行定性加以补充。扩散加权成像(DWI)可反映肿瘤组织的微观结构特点,已在宫颈癌的诊断及术前病理分级中得到应用^[3,4],但受限于生物组织内水分子运动的复杂性,其结果并不可靠。酰胺质子转移成像(amide proton transfer, APT)是一种新型分子成像技术,可用于检测组织内源性游离蛋白及多肽含量,反映细胞代谢及病理生理信息。目前,APT技术在脑肿瘤中的应用价值被广泛肯定,在宫颈癌中的研究还处于初级阶段。相关研究发现,APT评估宫颈鳞癌分级的诊断效能优于PET-CT^[5],但目前尚无有关APT与DWI在宫颈癌中的对比研究。本研究旨在对比分析APT与DWI在诊断宫颈鳞癌并评估其分级中的价值。

材料与方法

1. 病例资料

回顾性搜集2017年12月至2019年6月我院经手术病理证实的宫颈癌患者。病例纳入标准:①MRI检查后1周内获取明确的病理结果;②早期宫颈癌多以手术治疗为主,而晚期宫颈癌多采用放化疗^[6],因此纳入病例均为经手术病理证实的早期原发宫颈癌患者(病理分期:I B期—II A期;病理类型:鳞癌、腺癌);③MRI检查前未接受手术、放疗及药物等治疗。病例排除标准:①扫描序列不完整或图像质量影响诊断及数据测量;②病灶最大径<2 cm。按照以上标准,纳入宫颈癌患者共50例,术后病理结果显示IB期14

例,II A期36例,根据病理类型分为腺癌组[11例,年龄49~65岁,平均(56.1±5.4)岁]和鳞癌组[39例,年龄41~67岁,平均(53.5±9.2)岁];患者年龄在宫颈鳞癌与腺癌组、低分化与高中分化宫颈鳞癌组间差异均无统计学意义(*P*值均>0.05)。因宫颈腺癌病例较少,故仅对宫颈鳞癌亚组进行分析。根据2003年WHO制定的病理分级标准,宫颈鳞癌患者分为I级(高分化,n=9)、II级(中分化,n=18)、III级(低分化,n=12),本研究将鳞癌组患者细分为低分化鳞癌组(n=12)与高中分化鳞癌组(n=27)进行比较。

2. 检查方法

MRI检查采用GE Discovery MR750 3.0T磁共振扫描仪,32通道体部相控阵线圈,检查前嘱患者适度充盈膀胱并行阴道填塞,行常规MRI平扫、DWI及APT扫描。扫描序列包括常规矢状面、冠状面、斜轴面T₁WI/T₂WI序列,视野36 cm×28 cm,层间距1.0 mm,层厚5.0 mm;斜轴面(垂直于宫颈长轴)无抑脂、小视野、薄层T₂WI序列扫描参数:视野22 cm×22 cm,层间距0 mm,层厚4.0 mm;斜轴面DWI采用单次激发(SE-EPI)序列,扫描参数:TR 2000 ms,TE 57 ms,视野36 cm×28 cm,层间距1 mm,层厚4 mm,激励次数2,矩阵大小128×128,扩散敏感梯度**b**值取0、800 s/mm²。斜轴面APT序列以斜轴面T₂WI图像为参考,选取显示病灶最大层面进行单层定位扫描,采用2D单次激发EPI序列,扫描参数:TR 3000 ms,TE最小值,翻转角20°,饱和时间4 s,化学位移±3.5 ppm,视野36 cm×28 cm,矩阵128×128,层厚8 mm,激励次数4,扫描时间为4 min 36 s。

3. 图像处理及分析

将DWI、APT图像传至GE AW 4.6工作站,采用Functool工具包中的APT/ADC软件对图像进行后处理。由1位主治医师和1位副主任医师分别阅片,并测量不对称性磁化转移率(asymmetric magne-

tization transfer ratio, MTR_{asym})、平均 ADC 值、最小 ADC 值。ROI 选择标准:①尽量将 ROI 置于 DWI 明显高信号区域,即肿瘤实性部分;②ROI 应与病灶边缘维持一定间距,以避免容积效应;③ROI 选择时尽量避开较为明显的囊变、坏死及出血等区域。参照肿瘤常规平扫图像,在 DWI、APT 图像上选取病灶最大截面,在肿瘤实性部分手动勾画 3 个类圆形、面积约为 50 mm² 的 ROI,对每个病灶连续测量 3 次,最终结果取两位观察者各自的平均值。

4. 统计学分析

采用 SPSS 25.0 及 MedCalc 15.0 软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以平均值±标准差表示,计数资料以频数表示。采用 Bland-Altman 对两位医师各参数测量结果的一致性进行评价。采用独立样本 t 检验比较宫颈鳞癌组与腺癌组、低分化与高中分化宫颈鳞癌组的 MTR_{asym}、平均 ADC 值、最小 ADC 值差异;绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析上述各参数值的诊断效能及最佳诊断阈值,并根据约登指数确定各参数的相应诊断敏感度、特异度。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 两位医师测得 APT 及 DWI 各参数的一致性检验

采用 Bland-Altman 对比分析两位医师所测数据后发现,两位医师间 MTR_{asym}、平均 ADC 值、最小 ADC 值均具有较好的一致性,在 95% 一致性界限之

内的点分别为 48/50(96.0%)、49/50(98.0%)、48/50(96.0%)。最终,将副主任医师所测得的数据作为分析评价指标。

2. 宫颈鳞癌与腺癌组、低分化与高中分化宫颈鳞癌组各参数比较

APT 及 DWI 扫描后经软件后处理得到 MTR_{asym}、ADC 伪彩图(图 1)。宫颈腺癌组 MTR_{asym} 值大于宫颈鳞癌组,平均 ADC 值、最小 ADC 值大于宫颈鳞癌组,差异均有统计学意义(P 值均<0.01)。低分化鳞癌组 MTR_{asym} 值大于高中分化鳞癌组,平均 ADC 值、最小 ADC 值小于高中分化鳞癌组,差异均有统计学意义(P 值均<0.01,表 1、2)。

3. APT、DWI 各参数值的诊断效能比较

ROC 曲线分析结果显示,MTR_{asym} 值诊断宫颈鳞癌的曲线下面积(area under curve, AUC)最高(0.865),其次依次为最小 ADC 值(0.816)、平均 ADC 值(0.801),MTR_{asym} 与最小 ADC 值、平均 ADC 值间的 AUC 差异均无统计学意义(Z=0.441、0.623,P 值均>0.05);分别以 3.08% (MTR_{asym})、0.96×10⁻³ mm²/s(平均 ADC 值)、0.87×10⁻³ mm²/s(最小 ADC 值)为阈值,最小 ADC 值具有最大敏感度(81.8%),MTR_{asym} 具有最大特异度(81.8%)及约登指数(0.613,表 3、图 2)。MTR_{asym} 值诊断低分化宫颈鳞癌的 AUC(0.932)最高,其次依次为最小 ADC 值(0.846)、平均 ADC 值(0.735),其中 MTR_{asym} 值与平均 ADC 值之间的 AUC 差异有统计学意义(Z=1.988,P<0.05),MTR_{asym} 值与最小 ADC 值之间的 AUC 差异无统计学意义(Z=1.161,P>0.05);分别

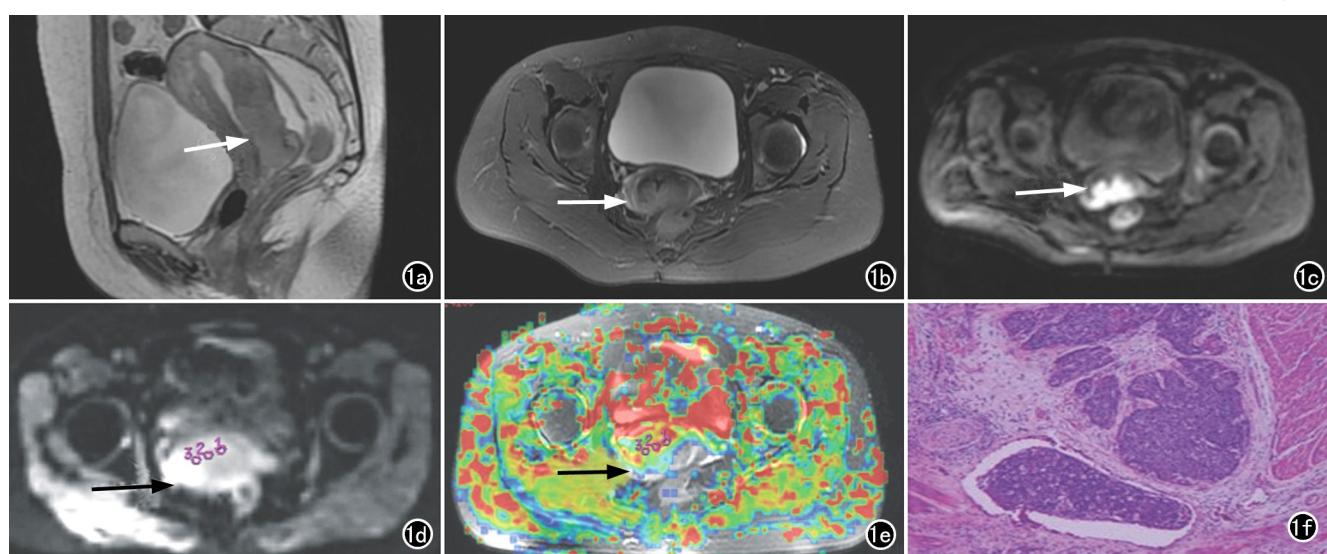


图 1 中分化宫颈鳞癌患者,女,52岁。a)矢状面 T₂ WI 图像示宫颈后壁软组织肿块影(箭);b)斜轴面抑脂 T₂ WI 图像示肿块呈不规则稍高信号(箭);c)斜轴面 DWI(b=600 s/mm²)常规视野示病变呈高信号(箭);d) APT 原始图像示病变呈稍高信号(箭);e) APT 伪彩图示病变呈蓝色、黄色混杂信号(箭);f)镜下示肿瘤细胞排列相对密集,异型性较高(×400, HE)。

以 3.06% (MTR_{asym})、 $0.93 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ (平均 ADC 值)、 $0.83 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ (最小 ADC 值) 为阈值, 最小 ADC 值具有最大敏感度 (96.3%), MTR_{asym} 具有最大特异度 (83.3%) 及约登指数 (0.685, 表 4、图 3)。

表 1 宫颈鳞癌组与腺癌组各参数值比较

参数	鳞癌组 (n=39)	腺癌组 (n=11)	t	P
$MTR_{asym}\text{ (%)}$	3.03 ± 0.06	3.12 ± 0.05	4.34	<0.001
平均 ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	0.94 ± 0.03	0.98 ± 0.04	3.65	0.001
最小 ADC($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	0.85 ± 0.03	0.88 ± 0.02	3.55	0.001

表 2 低分化鳞癌组与中高分化鳞癌组各参数值比较

参数	低分化组 (n=12)	中高分化组 (n=27)	t	P
$MTR_{asym}\text{ (%)}$	3.08 ± 0.03	3.00 ± 0.05	5.37	<0.001
平均 ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	0.92 ± 0.02	0.95 ± 0.03	2.55	0.001
最小 ADC($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	0.82 ± 0.02	0.86 ± 0.02	4.08	0.001

表 3 各参数值对宫颈鳞癌的诊断效能分析

参数	AUC	阈值	敏感度 (%)	特异度 (%)	约登 指数
$MTR_{asym}\text{ (%)}$	0.865	3.08	79.5	81.8	0.613
平均 ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	0.801	0.96	72.7	71.8	0.445
最小 ADC($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	0.816	0.87	81.8	76.9	0.587

表 4 各参数值对低分化宫颈鳞癌的诊断效能分析

参数	AUC	阈值	敏感度 (%)	特异度 (%)	约登 指数
$MTR_{asym}\text{ (%)}$	0.932	3.06	85.2	83.3	0.685
平均 ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	0.735	0.93	66.7	75.0	0.417
最小 ADC($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	0.846	0.83	96.3	50.0	0.463

讨 论

本研究结果显示宫颈鳞癌组 MTR_{asym} 值低于腺癌组, 差异有统计学意义 ($P < 0.01$), 平均 ADC 值、最小 ADC 值均低于腺癌组, 差异均有统计学意义 (P 值均 < 0.01), 与相关报道的研究结果一致^[7,8]。可能因为

相比于宫颈鳞癌, 宫颈腺癌细胞富含腺体结构, 可分泌更多的黏蛋白, 且与宫颈鳞癌相比, 其可表达更多的蛋白质^[9], 从而引起 APT 信号增高, MTR_{asym} 值增高; 另外, 宫颈腺癌细胞排列疏松, 细胞胞浆及腺腔结构内含有丰富的黏液成分, 水分子扩散受限程度减低, 因此具有较高的 ADC 值。本研究中, 低分化宫颈鳞癌组 MTR_{asym} 值大于高中分化宫颈鳞癌组, 平均 ADC 值、最小 ADC 值小于高中分化鳞癌组, 与既往研究的结论类似^[5]。笔者推测, 与高中分化宫颈鳞癌相比, 低分化宫颈鳞癌细胞增殖更活跃, 细胞密度更大, 因此其可合成更多的游离蛋白质和多肽, 导致 APT 信号增高, MTR_{asym} 值增高; 另外, 影响肿瘤分级的主要因素为细胞密度、细胞异型性、细胞核核浆比, 与高中分化宫颈鳞癌相比, 低分化宫颈鳞癌恶性程度更高, 因此其病理级别更高, 细胞核体积更大, 核异型性更明显, 细胞器更多, 细胞排列更紧密, 因此细胞内外水分子扩散受限程度增加, 导致 ADC 值降低。

本研究中, MTR_{asym} 值诊断宫颈鳞癌的 AUC 最高, 最小 ADC 值次之, 平均 ADC 值最小; 另外, 在诊断低分化宫颈鳞癌中, MTR_{asym} 值的 AUC 最高, 其次依次为最小 ADC 值、平均 ADC 值, 其中 MTR_{asym} 值与平均 ADC 值之间的 AUC 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$), 表明相对于 DWI, APT 对鉴别宫颈癌分型及宫颈鳞癌分级更具优势。Takayama 等^[10] 研究发现, APT 技术可应用于子宫内膜癌的组织学分级中, 且 APT 的诊断效能优于平均 ADC 值及最小 ADC 值, 与本研究结果类似。另外本研究结果显示, 平均 ADC 值在鉴别宫颈鳞癌及评估其分级中的效能均较低, 提

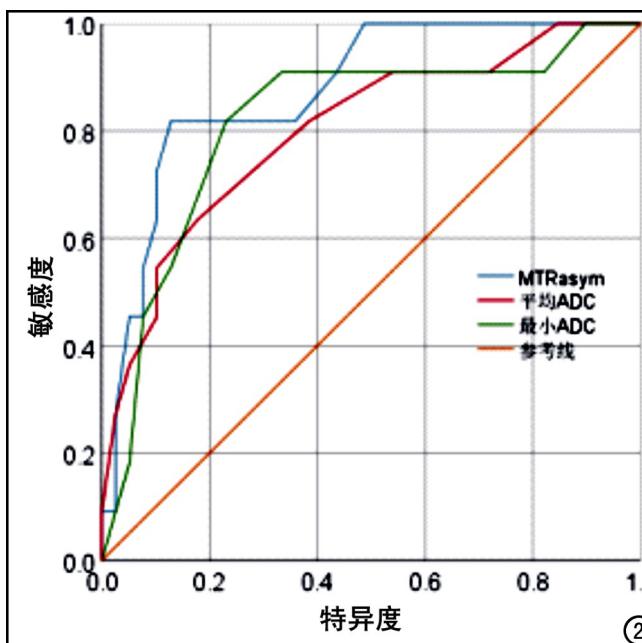


图 2 各参数诊断宫颈鳞癌的 ROC 曲线。

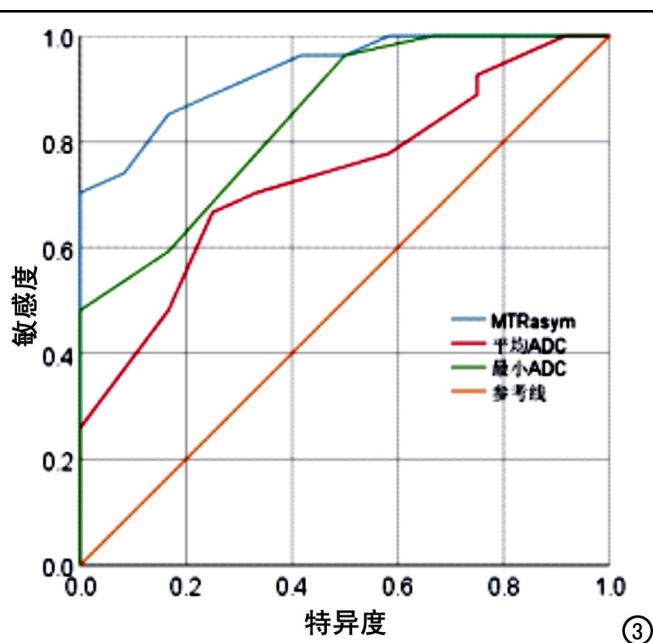


图 3 各参数诊断低分化宫颈鳞癌的 ROC 曲线。

示其临床应用价值有限。分析其原因,平均 ADC 值有可能掩盖了某些可代表肿瘤有效成分的异质性 ADC 值,而最小 ADC 值可更有效检测肿瘤组织的增殖活跃度,反映肿瘤最有效的成分^[11]。但是,DWI 模型以组织内水分子呈高斯分布为理论基础,ADC 值依据高斯分布的单指数模型获得,肿瘤组织内细胞结构的改变、细胞内外微环境平衡失调等因素均可影响水分子扩散,使得水分子扩散运动偏离高斯分布。另外,b 值的大小也可影响 DWI 对病变的显示能力,当 $b > 1000 \text{ s/mm}^2$ 时,水分子运动不完全符合高斯分布。以上原因均表明 DWI 仅可粗略评估病变信息,在临床应用中具有一定的局限性,因此 ADC 值的诊断效能较低,其结果的可靠性仍受到质疑。

APT 是一种 MR 分子成像技术,其优势在于不受血脑屏障的限制,并且无需注射对比剂,可无创探测蛋白质氨基质子与水分子间的交换过程,进而检测组织内源性游离蛋白及多肽含量,可从细胞分子水平上更精确地反映细胞的代谢及生理信息。Ohno 等^[12]研究发现,APT 在鉴别肺结节良恶性中的准确度及特异度高于 DWI。Li 等^[13]在对比 APT 与体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)诊断低分化与高中分化宫颈鳞癌的研究中发现,APT 信号的 AUC 分别高于 D 值及 ADC 值,表明其诊断效能优于 IVIM。Togao 等^[14]通过对 APT 与 DWI 诊断脑胶质瘤分级,研究发现 APT 是评估脑肿瘤最准确的非侵入性成像技术。以上结论与本研究结论类似,间接提示 APT 较 DWI 具有一定优势。尽管如此,APT 技术在临床应用中仍存在一些局限性:首先,一次扫描仅能获取单层图像,难以获取肿瘤的完整信息;其次,APT 技术的空间分辨率及信噪比较低,对于小病灶显示欠佳。

本研究存在以下局限性:①总样本量相对较少,且将高、中分化宫颈鳞癌合并为一组,未比较两者间的差异;②APT 序列对微小病变显示欠佳,因此纳入研究的均是病理分期为 I B 期—II A 期、病灶直径 $\geq 2 \text{ cm}$ 的患者,可能对结果的准确性造成一定影响;③ROI 的放置具有一定主观性,未能与病理标本相应位置匹配,因此缺乏病理对照。

综上所述,与 DWI 相比,APT 在诊断宫颈鳞癌并评估宫颈鳞癌分级中更具优势,可为临床选择治疗方

案及评估预后提供更多信息。

参考文献:

- [1] Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2018, 68(6):394-424.
- [2] 刘剑羽,周延.MRI 在女性生殖系统恶性肿瘤诊断、分期和疗效评价中的价值[J].中华放射学杂志,2015,49(5):323-327.
- [3] Liu Y, Bai R, Sun H, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of uterine cervical cancer[J]. J Comput Assist Tomogr, 2009, 33(6):858-862.
- [4] Kuang F, Ren J, Zhong Q, et al. The value of apparent diffusion coefficient in the assessment of cervical cancer[J]. Eur Radiol, 2013, 23(4):1050-1058.
- [5] Li B, Sun H, Zhang S, et al. Amide proton transfer imaging to evaluate the grading of squamous cell carcinoma of the cervix: A comparative study using ^{18}F -FDG PET[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 50(1):261-268.
- [6] Kraljević Z, Viskovic K, Ledinsky M, et al. Primary uterine cervical cancer: correlation of preoperative magnetic resonance imaging and clinical staging (FIGO) with histopathology findings[J]. Coll Antropol, 2013, 37(2):561-568.
- [7] 孟楠,殷慧佳,金兴兴,等.氨基质子转移成像对宫颈癌组织学特征的初步评价[J].临床放射学杂志,2019,38(2):290-293.
- [8] 胡启云,董越,董瑞彤,等.ADC 值对早期宫颈癌的诊断价值及与病理对照研究[J].放射学实践,2017,32(4):328-331.
- [9] 袁首道,王凤琴,张娇,等.宫颈腺癌细胞与宫颈鳞癌细胞蛋白表达差异的质谱分析[J].山东大学学报(医学版),2014,52(8):14-21.
- [10] Takayama Y, Nishie A, Togao O, et al. Amide proton transfer MR imaging of endometrioid endometrial adenocarcinoma: association with histologic grade[J]. Radiology, 2018, 286(3):909-917.
- [11] Chen Z, Ma L, Lou X. Diagnostic value of minimum apparent diffusion coefficient values in prediction of neuroepithelial tumor grading[J]. J Magn Reson Imaging, 2010, 31(6):1331-1338.
- [12] Ohno Y, Kishida Y, Seki S, et al. Amide proton transfer-weighted imaging to differentiate malignant from benign pulmonary lesions: comparison with diffusion-weighted imaging and FDG-PET/CT[J]. J Magn Reson Imaging, 2018, 47(4):1013-1021.
- [13] Li B, Sun H, Zhang S, et al. The utility of APT and IVIM in the diagnosis and differentiation of squamous cell carcinoma of the cervix: A pilot study[J]. Magn Reson Imaging, 2019, 63(9):105-113.
- [14] Togao O, Yoshiura T, Keupp J, et al. Amide proton transfer imaging of adult diffuse gliomas: correlation with histopathological grades[J]. Neuro Oncol, 2014, 16(3):441-448.

(收稿日期:2019-12-11 修回日期:2020-03-30)