·骨骼肌肉影像学·

ADC 平均值及最小值在鉴别良、恶性四肢软组织肿瘤中的价值

肖杨，廖凯兵，施欣园，刘凯

【摘要】 **目的**：探讨 ADC 平均值及最小值在鉴别四肢软组织肿瘤良恶性中的价值。**方法**：搜集经病理证实的 53 例四肢软组织肿瘤患者，其中良性 24 例，恶性 29 例，53 例患者均行 MRI 及 DWI 检查，分别测量病灶的 ADC 平均值及 ADC 最小值。采用独立样本 t 检验比较良、恶性四肢软组织肿瘤的 ADC 平均值及 ADC 最小值差异；采用受试者工作特征(ROC)曲线评价 ADC 平均值及 ADC 最小值对良、恶性四肢软组织肿瘤的鉴别诊断效能。**结果**：24 例良性四肢软组织肿瘤的平均 ADC 值为 $(1.289\pm0.231)\times10^{-3}$ mm/s^2，29 例恶性四肢软组织肿瘤的平均 ADC 值为 $(0.960\pm0.221)\times10^{-3}$ mm/s^2，两组差异有统计学意义($P=0.000$)。24 例良性四肢软组织肿瘤的最小 ADC 值为 $(1.118\pm0.233)\times10^{-3}$ mm/s^2，29 例恶性四肢软组织肿瘤的最小 ADC 值为 $(0.702\pm0.206)\times10^{-3}$ mm/s^2，两组差异有统计学意义($P=0.000$)。ROC 曲线分析结果显示，在鉴别四肢软组织肿瘤良、恶性方面，平均 ADC 值的曲线下面积(AUC)为 0.866，最小 ADC 值的 AUC 为 0.910，最小 ADC 值的鉴别诊断效能优于平均 ADC 值。最小 ADC 值的最佳诊断点为 0.968×10^{-3} mm/s^2，诊断敏感度为 83.3%，特异度为 89.7%。**结论**：最小 ADC 值在鉴别诊断四肢软组织肿瘤良恶性方面优于平均 ADC 值，有助于临床治疗方案的制定和预后评估。

【关键词】 软组织肿瘤；四肢；磁共振成像；扩散加权成像；平均 ADC 值；最小 ADC 值；诊断，鉴别

【中图分类号】R738.6；R445.2 【文献标志码】A 【文章编号】1000-0313(2021)01-0112-05

DOI：10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.01.022 开放科学(资源服务)标识码(OSID)：

Value of mean ADC and minimum ADC in identifying benign and malignant soft tissue tumors of extremities XIAO Yang, LIAO Kai-bing, SHI Xin-yuan, et al. Department of Radiology, Hubei Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Wuhan, 430015, China

【**Abstract**】 **Objective**: To explore the value of mean ADC and minimum ADC values in identifying benign and malignant soft tissue tumors of extremities. **Methods**: A total of 53 patients with soft tissue tumors of the extremities confirmed by pathology were collected, 24 benign and 29 malignant. 53 patients were examined by MRI with DWI. The mean ADC and minimum ADC values of the lesions were measured, and the independent sample t test was used for statistics analysis. The difference between mean ADC and minimum ADC of benign and malignant soft tissue tumors were compared. The receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the differential diagnostic efficacy of the two groups. **Results**: The mean ADC values of 24 benign and 29 malignant soft tissue tumors were $(1.289\pm0.231)\times10^{-3}$ mm/s^2 and $(0.960\pm0.221)\times10^{-3}$ mm/s^2 with statistically significant difference ($P=0.000$). The minimum ADC values of 24 benign and 29 malignant tumors were $(1.118\pm0.233)\times10^{-3}$ mm/s^2 and $(0.702\pm0.206)\times10^{-3}$ mm/s^2 with statistically significant difference ($P=0.000$). The results of ROC curve analysis showed that the area under the curve (AUC) of the mean ADC was 0.866 and the AUC of the minimum ADC was 0.910. The differential diagnostic value of the minimum ADC was better than that of the mean ADC. The best diagnostic point of the minimum ADC was 0.968×10^{-3} mm/s^2, the diagnostic sensitivity was 83.3%, and the specificity was 89.7%. **Conclusion**: The minimum ADC is better than the mean ADC in the differential diagnosis of

作者单位：430015 武汉，湖北省中西医结合医院放射科(肖杨，廖凯兵，施欣园)；430030 武汉，华中科技大学同济医学院附属同济医院肿瘤科(刘凯)

作者简介：肖杨(1987－)，女，湖北武汉人，医师，主要从事 MRI 诊断工作。

通信作者：刘凯，E-mail：253123728@qq.com

benign and malignant soft tissue tumors of the extremities, which is helpful for the formulation of clinical treatment plans and prognosis evaluation.

【Key words】 Soft tissue tumor; Limbs; Magnetic resonance imaging; Diffusion weighted imaging; Mean ADC; Minimum ADC; Diagnosis, differential

四肢软组织肿瘤主要为间胚叶和神经外胚叶病变所致，是一种较为少见的肿瘤类型[1]。四肢软组织肿瘤组织的来源较复杂，影像学表现多样且无明显特征性，良恶性肿瘤存在重叠，多数诊断困难。同时，由于四肢软组织肿瘤多位置较深，且定性诊断难度较大，因此在术前需通过影像学检查对肿瘤位置及其良恶性进行准确判断[2]。MRI 具有较高的软组织分辨力，在四肢软组织肿瘤的影像诊断中具有重要作用，但常规 MRI 对其诊断比较困难。DWI 能够反映活体组织病理、生理状态下细胞内外游离水分子的随机热运动，可从分子水平上观察组织病理改变。表观扩散系数（apparent diffusion coefficient，ADC）值可一定程度上反映肿瘤的病理类型及分化程度，由于肿瘤的异质性，病灶中 ADC 值越小越能代表肿瘤细胞的密集程度，有研究认为最小 ADC 值可作为判断肿瘤病理分级及恶性程度的客观指标[3]。已有一些研究探讨了 ADC 值在鉴别四肢良恶性软组织肿瘤中的价值，笔者查阅文献，尚未发现有文献探讨最小 ADC 值在鉴别四肢软组织肿瘤良恶性中的价值。本文回顾性分析 53 例四肢软组织肿瘤的 MRI 表现并比较良、恶性软组织肿瘤的平均 ADC 值、最小 ADC 值差异，旨在探讨 ADC 值在鉴别良、恶性四肢软组织肿瘤中的价值。

材料与方法

1.病例资料

搜集 2015 年 5 月－2020 年 5 月经手术后病理证实的 53 例四肢软组织肿瘤患者，其中男 30 例，女 23 例，年龄 11～76 岁，平均 41.3 岁，所有患者均行 MRI 平扫及 DWI 检查，检查前均未行放、化疗及手术治疗。本研究获本院伦理委员会批准，所有受检者均签署知情同意书。

2.检查方法

MRI 检查采用 GE Signa 3.0T MR 扫描仪，相控阵表面线圈，所有患者均行常规 MRI 平扫及 DWI 检查。扫描参数：T_1WI 序列，TR 400 ms，TE 15 ms，矩阵 128×128，层厚 5 mm，层间距 1 mm，激励次数为 1，视野 22 cm×22 cm～32 cm×32 cm；T_2WI 序列，TR 3300 ms，TE 80 ms，矩阵 128×128，层厚 5 mm，层间距 1 mm，激励次数为 1，视野 22 cm×22 cm～32 cm×32 cm；脂肪抑制 TSE 序列 T_2WI，TR 3900 ms，TE 80 ms，矩阵 128×128，层厚 5 mm，层间距 1 mm，激励次数为 1，视野 22 cm×22 cm～32 cm×32 cm；DWI 序列，TR 6000 ms，TE 45 ms，矩阵 128×128，层厚 5 mm，层间距 1 mm，激励次数为 1，视野 22 cm×22 cm～32 cm×32 cm，采集时间 48 s，扩散敏感系数（b 值）取 0、800 s/mm^2。DWI 图像在工作站进行后处理。

3.图像处理及数据测量

由 2 位副主任医师以上高年资诊断医师对肿瘤进行诊断及定位。感兴趣区（region of interest，ROI）的选取：结合 T_1WI、T_2WI 图像上肿瘤的范围及形态选取 ROI，避开坏死、囊变区域，ROI 面积≥50 mm^2，选取 5 个层面分别测量目标病灶的平均 ADC 值、最小 ADC 值。平均 ADC 值的测量：每个层面选取 1 个 ROI，记录病灶所在每一层面的 ADC 值后取其平均值。最小 ADC 值的测量：记录病灶所在每一层面的最小 ADC 值后取其最小值。若病灶大小不足 5 个层面，取 5 个不同部位分别进行测量。

4.统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。计量资料以均值±标准差表示，ADC 平均值及 ADC 最小值在良、恶性四肢软组织肿瘤间的比较采用独立样本 t 检验。采用受试者工作特征（receiver operating characteristic curve，ROC）曲线分析 ADC 平均值、ADC 最小值对良、恶性四肢软组织肿瘤的鉴别诊断效能。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结　果

1.病理类型

53 例患者均经病理证实，其中良性软组织肿瘤 24 例，恶性软组织肿瘤 29 例。24 例良性软组织肿瘤中包括血管瘤 8 例，脂肪瘤 6 例，神经鞘瘤 5 例，神经纤维瘤 5 例。29 例恶性软组织肿瘤中包括滑膜肉瘤 8 例，脂肪肉瘤 7 例，原始神经外胚层瘤 5 例，恶性神经鞘瘤 4 例，横纹肌肉瘤 3 例，平滑肌肉瘤 2 例。

2.MRI 表现

24 例良性软组织肿瘤中 8 例血管瘤可见病灶呈片状、结节状或条索状，T_1WI 呈稍低、等高信号，T_2WI 呈中等或高信号，DWI 呈高信号（图 1）；6 例脂肪瘤病灶边界清晰，T_1WI、T_2WI 均呈高信号，DWI 示病灶呈低信号；神经鞘瘤 5 例，T_1WI 呈等、低信号，T_2WI 呈均匀或不均匀高信号，DWI 呈稍高或高信号；神经纤维瘤 5 例，T_1WI 呈等、低信号，T_2WI 呈均匀或

不均匀高信号，DWI 呈高信号。

29 例恶性软组织肿瘤中 8 例滑膜肉瘤边界清晰，体积较大，T_1WI 呈等或稍低混杂信号，T_2WI 呈高信号或以高信号为主的混杂信号，DWI 呈高信号（图 2）；7 例脂肪肉瘤 T_1WI 呈等或高信号，T_2WI 呈高信号或以高信号为主的混杂信号，DWI 呈稍高或高信号；5 例原始神经外胚层瘤在 T_1WI 上表现为稍低或低信号，T_2WI 上表现为混杂高或高信号，在 DWI 上呈相对高信号；恶性神经鞘瘤 4 例，T_1WI 呈等、低信号，T_2WI 呈不均匀高信号；横纹肌肉瘤 3 例，T_1WI 上以不均匀等信号为主，T_2WI 上表现为稍高或高信号，其内可见少许混杂信号，DWI 上病灶呈高信号；平滑肌肉瘤 2 例在 T_1WI 上以不均匀等信号为主，T_2WI 上呈不均匀稍高信号，DWI 上病灶呈高信号。

3.四肢良、恶性软组织肿瘤 ADC 平均值、ADC 最小值比较

四肢良、恶性软组织肿瘤的平均 ADC 值及最小 ADC 值比较采用独立样本 t 检验。24 例四肢良性软组织肿瘤的平均 ADC 值为 $(1.289\pm0.231)\times10^{-3}$ mm/s^2，29 例四肢恶性软组织肿瘤的平均 ADC 值为 $(0.960\pm0.221)\times10^{-3}$ mm/s^2，两组差异有统计学意义（$t=5.255$，$P=0.000$）。24 例四肢良性软组织肿瘤的最小 ADC 值为 $(1.118\pm0.233)\times10^{-3}$ mm/s^2，29 例四肢恶性软组织肿瘤的最小 ADC 值为 $(0.702\pm0.206)\times10^{-3}$ mm/s^2，两组差异有统计学意义（$t=6.825$，$P=0.000$）。

4.ADC 平均值、ADC 最小值对四肢良、恶性软组织肿瘤的鉴别诊断效能

采用 ROC 曲线分析 ADC 平均值、ADC 最小值对四肢良、恶性软组织肿瘤的鉴别诊断效能。ROC 曲线分析结果显示，在鉴别四肢良、恶性软组织肿瘤方面，平均 ADC 值的曲线下面积（area under curve，AUC）为 0.866，最小 ADC 值的 AUC 为 0.910（图 3），最小 ADC 值的鉴别诊断效能优于平均 ADC 值。平均 ADC 值的最佳诊断点为 1.247×10^{-3} mm/s^2，诊断敏感度为 79.2%，特异度为 89.7%；最小 ADC 值的最佳诊断点为 0.968×10^{-3} mm/s^2，诊断敏感度为 83.3%，特异度为 89.7%。

讨 论

良性四肢软组织肿瘤完整切除后多具有较好的预后，恶性四肢软组织肿瘤因其恶性程度高、浸润速度快，预后多不良，临床上以扩大切除为重要原则[4]，因为四肢良、恶性软组织肿瘤治疗原则的不同，因此对四肢软组织肿瘤的良恶性进行无创性评价具有重要意义。MRI 对软组织分辨力高，是鉴别四肢软组织肿瘤良恶性的首选影像学检查方法，但部分良、恶性四肢软组织肿瘤的常规 MRI 表现相似，鉴别诊断较困难[5]。近年来，ADC 值已被广泛用于多种肿瘤的分级和鉴别诊断，但在关于采用 ADC 值进行四肢软组织肿瘤定性诊断方面目前临床尚无定论。

已有不少学者应用 ADC 值对不同病理类型的肿

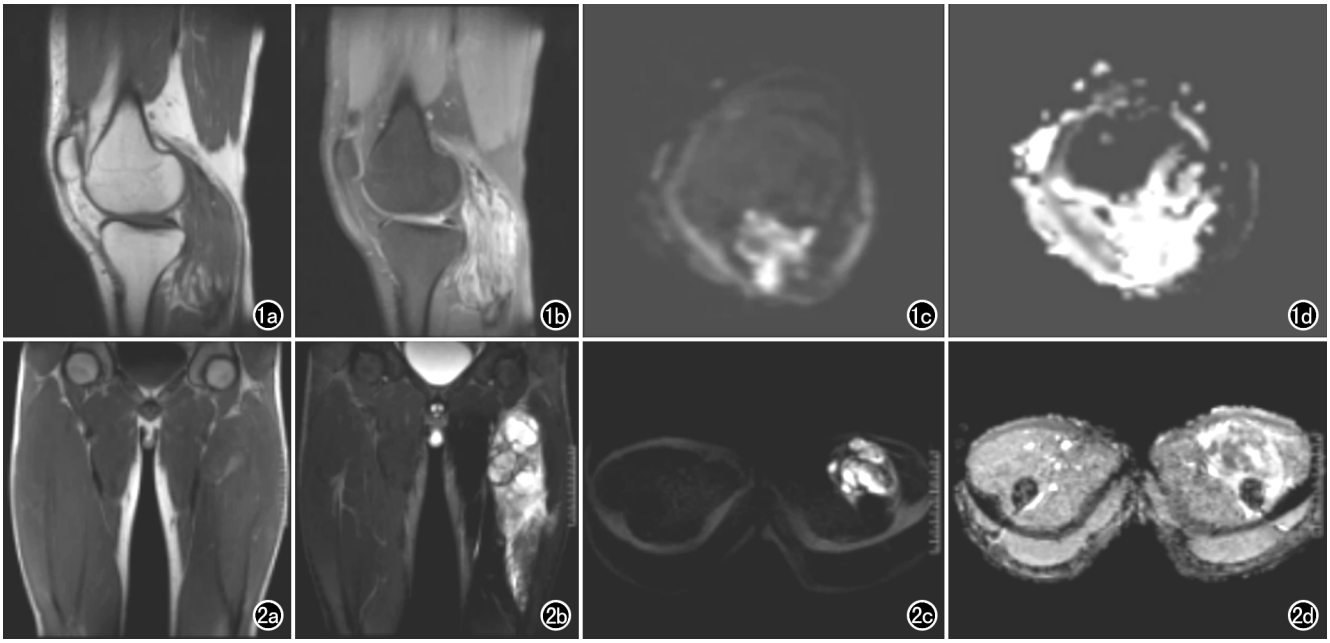

图 1 右侧腘窝血管瘤患者，男，23 岁。a）T_1WI 示病灶呈低信号；b）T_2WI 抑脂序列示病灶呈高信号；c）DWI 示病灶呈高信号；d）ADC 图示病灶信号不低。 **图 2** 左大腿滑膜肉瘤患者，男，18 岁。a）T_1WI 示左侧大腿上段前方软组织内不规则团块状混杂等、低信号；b）T_2WI 抑脂序列示病灶呈混杂高信号；c）DWI 示病灶呈高信号；d）ADC 图示病灶呈低信号。

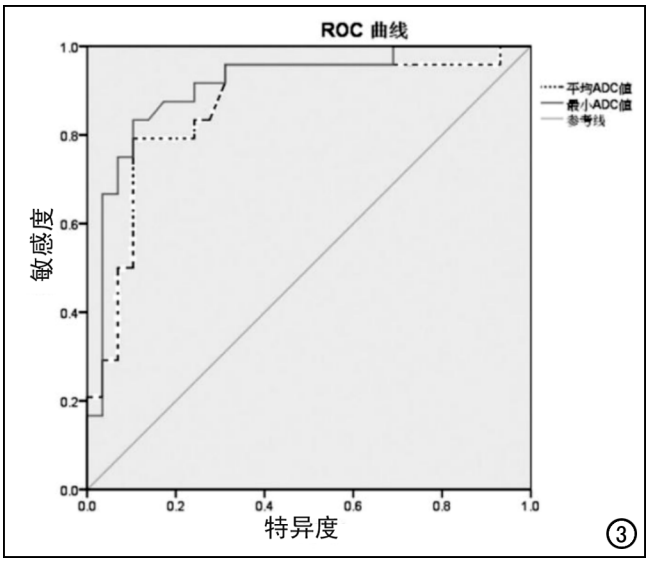

图 3 ADC 平均值、ADC 最小值鉴别诊断良、恶性四肢软组织肿瘤的 ROC 曲线。

瘤进行定量研究，证实了 ADC 值与肿瘤的细胞密度呈负相关，恶性肿瘤细胞排列紧密、核浆比例高、基质稀少，水分子扩散受限，ADC 值较低，而良性肿瘤的 ADC 值较高[6-8]。Maeda 等[6]报道恶性软组织肿瘤的 ADC 值为(0.94±0.25)×10^{-3} mm/s^2，良性软组织肿瘤的 ADC 值为(1.31±0.46)×10^{-3} mm/s^2。Kiyoshi 等[7]报道恶性软组织肿瘤的 ADC 值为(0.88±0.40)×10^{-3} mm/s^2，而良性软组织肿瘤的 ADC 值为(1.36±0.48)×10^{-3} mm/s^2。王琦等[8]报道恶性软组织肿瘤的 ADC 值为(0.96±0.31)×10^{-3} mm/s^2，良性软组织肿瘤的 ADC 值为(1.92±0.36)×10^{-3} mm/s^2。本研究结果显示，四肢良性软组织肿瘤的平均 ADC 值为(1.289±0.231)×10^{-3} mm/s^2，恶性软组织肿瘤的平均 ADC 值为(0.960±0.221)×10^{-3} mm/s^2，两组差异有统计学意义(P=0.000)，本研究的平均 ADC 值测量结果与 Maeda 等、Kiyoshi 等近似，但良性软组织肿瘤的 ADC 值测量结果与王琦等的结果差异较大，这可能与两项研究的肿瘤构成比、扫描机型及扫描参数不同有关。由于肿瘤恶性程度越高，肿瘤细胞越密集，ADC 值越低，因此笔者认为如果 ADC 值显著降低，为恶性肿瘤的概率很高；另外，关于软组织肿瘤 DWI 检查最佳 b 值的选择尚无定论，同时 b 值是 DWI 检查的关键参数，因此选择合适的 b 值尤其关键，由于增高 b 值会导致图像信噪比降低，因此较高的 b 值通常不用于临床中，但相关研究表明，b 值升高能够使水分子扩散检测的敏感性提高，从而削弱 T_2 透射效应[9]，笔者建议在保证图像信噪比的基础上，选择相对较高的 b 值(如 800 或 1000s/mm^2)。本研究结果显示，良性四肢软组织肿瘤的 ADC 值明显高于恶性软组织肿瘤，这可能是因为恶性软组织肿瘤的肿瘤细胞更密集，瘤内血液粘滞度更高，致使水分子扩散降低而导致的，这与以上研究的结果一致。

Nasu 等[10]研究认为，肿瘤细胞的病理分级不仅取决于结构异型性，还取决于细胞异型性。DWI 只能探查细胞外水分子的布朗运动，故只能反映其结构异型性，对于细胞内水分子的运动尚不能有效进行评估。因此，ADC 平均值作为反映肿瘤细胞病理特性的指标仍存在局限性。但随着相关研究的不断深入，人们发现病灶中较低的 ADC 值往往更能反映恶性肿瘤的病理学特征。ADC 值与肿瘤细胞密度及其良恶性密切相关，最小 ADC 值区域代表肿瘤细胞最密集的区域，也是病灶中水分子扩散受限最显著的区域，最小 ADC 值可能可以更准确地评估肿瘤的病理分级[11,12]。关于最小 ADC 值对肿瘤病理分级的诊断价值，已有不少文献报道。Kato 等[13]发现最小 ADC 值有助于乳腺癌不同亚型的鉴别诊断。李颜良等[14]发现最小 ADC 值对髓母细胞瘤、星形细胞瘤、室管膜瘤具有较高的鉴别诊断效能。张娜等[15]的研究显示，最小 ADC 值可为宫颈癌的良恶性鉴别诊断及准确分期提供重要参考。鲁果果等[16]研究发现颈部淋巴瘤的最小 ADC 值低于转移性淋巴结，差异有统计学意义，有助于鉴别两者。陈伟等[17]研究认为最小 ADC 值在预测食管癌病理分级方面优于平均 ADC 值，有助于临床治疗方案的制定和预后评估。本研究结果显示，良性四肢软组织肿瘤的最小 ADC 值为(1.118±0.233)×10^{-3} mm/s^2，恶性软组织肿瘤的最小 ADC 值为(0.702±0.206)×10^{-3} mm/s^2，两组差异有统计学意义(P=0.000)。关于平均 ADC 值和最小 ADC 值对四肢软组织肿瘤良恶性的鉴别诊断效能，本研究采用 ROC 曲线进行了分析，结果显示最小 ADC 值的曲线下面积(AUC)为 0.910，平均 ADC 值的 AUC 为 0.866，故最小 ADC 值对四肢良、恶性软组织肿瘤具有更高的鉴别诊断效能，优于平均 ADC 值。以最小 ADC 值≤0.968×10^{-3} mm/s^2 为阈值诊断恶性四肢软组织肿瘤的敏感度为 83.3%，特异度为 89.7%。因此，通过测量四肢软组织肿瘤病灶的最小 ADC 值可准确评估其病理类型，对临床治疗方法的选择及预后评估具有重要价值。

本研究存在一定的局限性：①样本量较小，同时由于四肢软组织肿瘤种类较多，本研究只涉及了相对常见的几种类型，可能对研究结果产生一定偏倚；②平均 ADC 值及最小 ADC 值的测量受多种因素的影响，可能存在一定的测量误差；③本研究中 DWI 检查采用单 b 值，而软组织肿瘤 DWI 检查最佳 b 值的选择尚无定论，同时 ADC 值的测量易受组织微循环灌注影响，使

得测量结果可能存在一定的误差。未来笔者将尝试采用多 b 值 DWI 进行 ADC 值的测量，同时纳入更大样本量、更多四肢软组织肿瘤类型进行更深入的研究。

综上所述，平均 ADC 值和最小 ADC 值对四肢软组织肿瘤的良恶性均具有较高的鉴别诊断效能，最小 ADC 值优于平均 ADC 值。术前通过测量四肢软组织肿瘤病灶的最小 ADC 值可准确评估其病理类型，有助于临床治疗方案的制定及肿瘤预后评估。

参考文献：

[1] 孙全良，李希敏.评价对比分析多层螺旋 CT 与 MRI 扩散加权成像诊断四肢软组织肿瘤的价值[J].医学影像学杂志，2017，27(7)：1371-1374.

[2] 王树，阮海威，林鹤.DWI 在软组织肿瘤中的应用价值[J].中国中西医结合影像学杂志，2016，14(6)：729-731.

[3] Zhao S, Guo W, Tan R, et al. Correlation between minimum apparent diffusion coefficient values and the histological grade of breast invasive ductal carcinoma[J]. Oncol lett, 2018, 15(5): 8134-8140.

[4] Teixeira PA, Beaumont M, Gabriela H, et al. Advanced techniques in musculoskeletal oncology: perfusion, diffusion, and spectroscopy [J]. Semin Musculoskelet Radiol, 2015, 19(5): 463-474.

[5] 金腾，刘垚，李婷，等.MRI 对软组织肿瘤的鉴别诊断价值[J].放射学实践，2015，30(3)：269-274.

[6] Maeda M, Matsumine A, Kato H, et al. Soft-tissue tumors evaluated by line-scan diffusion-weighted imaging: influence of myxoid matrix on the apparent diffusion coefficient[J]. J Magn Reson Imaging, 2007, 25(6): 1199-1204.

[7] Kiyoshi O, Toshitake Y, Hiro S, et al. Usefulness of diffusion-weighted imaging for differentiating between desmoid tumors and malignant soft tissue tumors[J]. J Magn Reson Imaging, 2011, 33(1): 189-193.

[8] 王琦，鲍润贤，叶兆祥，等.磁共振扩散加权成像鉴别良恶性软组织肿瘤的价值[J].中国肿瘤临床，2008，35(23)：1331-1334.

[9] Mardor Y, Roth Y, Ochershvilli A, et al. Pretreatment prediction of brain tumors' response to radiation therapy using high b-value diffusion-weighted MRI[J]. Neoplasia, 2004, 6(2): 136-142.

[10] Nasu K, Kuroki Y, Tsukamoto T, et al. Diffusion-weighted imaging of surgically resected hepatocellular carcinoma: imaging characteristics and relationship among signal intensity, apparent diffusion coefficient, and histopathologic grade[J]. AJR Am J Roentgenol, 2009, 193(2): 438-444.

[11] 王亚婷，朱艳，陆洋，等.表观弥散系数平均值及最小值与肝癌病理学特征的相关性研究[J].中国临床医学影像杂志，2017，28(11)：805-809.

[12] Kang Y, Choi SH, Kim YJ, et al. Gliomas: histogram analysis of apparent diffusion coeffieient maps with standard-or high-b-value diffusion-weighted MR imaging-correlation with tumor grade[J]. Radiology, 2011, 261(3): 882-890.

[13] Kato F, Kudo K, Yamashita H, et al. Differences inmorphological features and minimum apparent diffusion coefficient values among breast cancer subtypes using 3-tesla MRI[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(1): 96-102.

[14] 李颜良，张勇，程敬亮，等.平均最小 ADC 值在儿童髓母细胞瘤鉴别诊断中的应用[J].郑州大学学报(医学版)，2016，51(2)：244-247.

[15] 张娜，王维青，武霞.MRI 最小 ADC 值取代平均 ADC 值在宫颈癌诊断及分期中的应用研究[J].医学影像学杂志，2017，27(9)：1774-1777.

[16] 鲁果果，孙聚葆，李新瑜，等.最小 ADC 值鉴别诊断颈部转移性淋巴结与淋巴瘤的价值[J].医学影像学杂志，2017，27(5)：801-803.

[17] 陈伟，王亚婷，周海飞，等.ADC 平均值及最小值与食管癌病理特点的相关性分析[J].放射学实践，2019，34(9)：1002-1006.

(投稿日期：2020-07-01 修回日期：2020-07-21)