

论 著

MRI动态增强扫描的时间-密度曲线对肌骨肿瘤与瘤样病变的诊断价值*

池宸申¹ 孙伟^{2,*} 孟捷³沈嘉康² 卓蕴慧⁴1.上海交通大学医学院附属第一人民医院
骨科(上海200080)2.上海交通大学医学院附属第一人民医院
骨肿瘤科(上海200080)3.上海交通大学医学院附属第一人民医院
放射科(上海200080)4.上海中医药大学附属曙光医院肝病科
(上海201203)

【摘要】目的 探讨MRI动态增强扫描的时间-密度曲线(TIC)对肌骨肿瘤与瘤样病变的诊断价值。方法 回顾性分析2022年1月至2023年12月在我院接受手术治疗的84例肌骨肿瘤与瘤样病变患者的临床资料。纳入患者均在术前完成常规MRI以及MRI动态增强扫描,统计其形态学特征、信号征象、TIC曲线类型以及相关参数。以手术病理结果为“金标准”,使用Kappa一致性分析MRI动态增强扫描诊断肌骨肿瘤与瘤样病变与金标准的一致性。以手术病理结果将84例肌骨肿瘤与瘤样病变患者分为恶性组(n=51)与良性组(n=33)。比较两组患者的形态学特征、信号征象、TIC曲线类型以及MRI动态增强扫描参数。使用受试者工作特征(ROC)曲线分析各参数对肌骨肿瘤与瘤样病变的诊断价值。结果 恶性组与良性组边缘、边界、强化比较,差异有统计学意义($P<0.05$);以手术病理结果为金标准, MRI动态增强扫描诊断肌骨肿瘤与瘤样病变与金标准的Kappa值为0.730,说明诊断一致性较高($P<0.05$)。其敏感度、特异度、准确率、良性预测值、恶性预测值分别为86.27%、87.88%、86.90%、80.56%、91.67%。秩和检验发现恶性组与良性组MRI动态增强扫描TIC曲线类型比较有极显著差异($P<0.05$)。恶性组TIC曲线最大上升率大于良性组,峰值时间短于良性组($P<0.05$)。TIC曲线最大上升率、峰值时间、二者联合诊断肌骨肿瘤与瘤样病变灶良恶性的ROC曲线下面积分别为0.756、0.805、0.846($P<0.05$)。结论 MRI动态增强扫描诊断肌骨肿瘤与瘤样病变与手术结果一致性高, MRI动态增强扫描的TIC曲线对肌骨肿瘤与瘤样病变诊断具有一定价值, TIC曲线最大上升率、峰值时间可作为辅助评估指标。

【关键词】MRI动态增强扫描; 时间-密度曲线;
肌骨肿瘤; 瘤样病变; 诊断价值

【中图分类号】R322.7+1

【文献标识码】A

【基金项目】上海市科学技术委员会科研
计划项目(19401934100)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.02.042

Diagnostic Value of Time-signal Intensity Curve under Dynamic Contrast-enhanced MRI in Musculoskeletal Tumors and Tumor-like Lesions*

CHI Chen-shen¹, SUN Wei^{2,*}, MENG Jie³, SHEN Jia-kang², ZHUO Yun-hui⁴.1.Department of Orthopedics, the First People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of
Medicine, Shanghai 200080, China2.Department of Orthopaedic Oncology, the First People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University
School of Medicine, Shanghai 200080, China3.Department of Radiology, the First People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of
Medicine, Shanghai 200080, China4.Department of Hepatology, Shuguang Hospital, Shanghai University of Traditional Chinese
Medicine, Shanghai 201203, China

ABSTRACT

Objective To explore the diagnostic value of time-signal intensity curve (TIC) under dynamic contrast-enhanced MRI (DEC-MRI) in musculoskeletal tumors and tumor-like lesions. **Methods** A retrospective analysis was performed on the clinical data of 84 patients with musculoskeletal tumors and tumor-like lesions who underwent surgical treatment in the hospital between January 2022 and December 2023. All patients underwent routine MRI and DEC-MRI examinations before surgery to statistically analyze morphological characteristics, signal signs, TIC types and related parameters. Taking results of surgical pathology as the golden standard, the consistency between DEC-MRI and the golden standard in the diagnosis of musculoskeletal tumors and tumor-like lesions was analyzed by Kappa consistency test. According to results of surgical pathology, 84 patients were divided into malignant group (n=51) and benign group (n=33), morphological characteristics, signal signs, TIC types and DEC-MRI parameters in the two groups were compared, and the diagnostic value of different parameters for musculoskeletal tumors and tumor-like lesions was analyzed by receiver operating characteristic (ROC) curves. **Results** There were significant differences in edge, boundary and reinforcement between malignant group and benign group ($P<0.05$). Taking results of surgical pathology as the golden standard, Kappa value between DEC-MRI and the golden standard in the diagnosis of musculoskeletal tumors and tumor-like lesions was 0.730, showing high consistency ($P<0.05$), and its sensitivity, specificity, accuracy, benign predictive value and malignant predictive value were 86.27%, 87.88%, 86.90%, 80.56% and 91.67%, respectively. The rank sum test showed that there were extremely significant differences in TIC types under DEC-MRI between malignant group and benign group ($P<0.05$). The maximum rise rate of TIC in malignant group was higher than that in benign group, and time to peak was shorter than that in benign group ($P<0.05$). The area under ROC curve (AUC) values of maximum rise rate, time to peak and combined detection in the diagnosis of benign and malignant musculoskeletal tumors and tumor-like lesions were 0.756, 0.805 and 0.846, respectively ($P<0.05$). **Conclusion** DEC-MRI has high consistency with surgical pathology in the diagnosis of musculoskeletal tumors and tumor-like lesions. TIC under DEC-MRI has certain diagnostic value in musculoskeletal tumors and tumor-like lesions, the maximum rise rate of TIC and time to peak can be applied as auxiliary evaluation indexes.

Keywords: Dynamic Contrast-enhanced MRI; Time-Signal Intensity Curve; Musculoskeletal Tumor; Tumor-like Lesion; Diagnostic Value

肌骨肿瘤是骨骼肌肉系统肿瘤, 骨骼肌肉系统包含人体全部组织类型, 同一组织的肿瘤可分为多种类型, 其种类复杂, 临床表现复杂, 诊断难度较大^[1]。根据肿瘤性质, 通常良性肌骨肿瘤患者病情可控, 能取得良好预后, 而恶性肌骨肿瘤患者病情进展较快, 易发生转移、扩散^[2]。现阶段对于符合手术指征的肌骨肿瘤与瘤样病变患者首选手术治疗, 因此早期诊断对改善患者预后, 延长患者生存期极其重要^[3]。常规MRI扫描可获取病灶大小、位置、边界等形态学信息, 辅助鉴别肿瘤良恶性, 但肌骨肿瘤病变的皮质与母骨相连会造成骨质破坏、钙化等, 影响临床诊断^[4]。近年来随着医学技术发展, MRI动态增强扫描已逐渐应用于各种恶性肿瘤诊断, MRI动态增强扫描提高了血流动力学诊断, 通过观察病灶内血管分布等信息辅助判断, 同时可绘制时间-密度曲线(time-signal intensity curve, TIC)反映病灶血流灌注和廓清^[5-6]。目前, 国外学者关于MRI动态增强扫描诊断肌骨肿瘤与瘤样病变的研究报道较多, 我国目前相关研究并不丰富^[7-8]。基于此, 本研究回顾性分析84例肌骨肿瘤与瘤样病变患者的临床资料, 探讨MRI动态增强扫描的TIC曲线对肌骨肿瘤与瘤样病变的诊断价值。

【第一作者】池宸申, 男, 主治医师, 主要研究方向: 骨科。E-mail: 13761933919@163.com

【通讯作者】孙伟, 男, 主任医师, 主要研究方向: 骨与软组织肿瘤治疗新技术、药物开发以及发病机制等。E-mail: viv-sun@sjtu.edu.cn

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2022年1月至2023年12月在我院接受手术治疗的84例肌骨肿瘤与瘤样病变患者的临床资料。

纳入标准：在我院接受手术治疗且病理确诊的肌骨肿瘤与瘤样病变患者；均在术前7d内完成常规MRI以及MRI动态增强扫描且检查前未接受穿刺活检、放化疗、介入治疗等；患者已成年，显像质量良好，资料保存完整。排除标准：体内有金属植入、对比剂过敏等存在MRI禁忌证患者；远端转移患者；复发患者；精神障碍患者。本研究经由我院医学伦理会批准。以手术病理结果将84例肌骨肿瘤与瘤样病变患者分为恶性组(n=51)与良性组(n=33)。其中恶性组患者男32例，女19例；年龄22~61岁，平均(42.57±8.14)岁；肿瘤位置骨内病变39例，软组织病变12例；病变分布上肢13例，下肢28例，脊柱7例，其他3例；病程2~26个月，平均(10.17±3.54)个月。其中良性组患者男20例，女13例；年龄19~57岁，平均(40.92±7.41)岁；肿瘤位置骨内病变26例，软组织病变7例；病变分布上肢8例，下肢17例，脊柱6例，其他2例；病程2~26个月，平均(10.17±3.54)个月。

1.2 方法 所有患者使用Philips Achieva 1.5T磁共振扫描仪进行检查，先行MRI常规扫描，冠状面T1加权像参数设置：重复时间500ms，回波时间20ms；T2加权像参数设置：重复时间4200ms，回波时间100ms。横轴面脂肪抑制T2加权像参数设置：重复时间4200ms，回波时间100ms。横轴面T1加权像快速小角度激发三维梯度回波序列加脂肪抑制：重复时间3.9ms，回波时间1.3ms，翻转角10°，层厚根据病灶选择3~5mm。高压注射器对比剂静脉注射，3ml/s注射0.1mmol/kg。无间断扫描18期，采集图像。

1.3 图像处理及观察指标 原始图像上传至工作站，由两名经验丰富且具有5年以上影像学诊断经验的医师采用双盲法独立阅片，结果不一致时讨论得出统一结论。参考《实用骨科学》^[9]中标准。病灶与周围组织界面模糊、病变范围大，伴有明显骨皮质损坏、骨膜反应、软组织肿块、周围膨胀反应、增强扫描出现强化可定义为恶性。病灶与周围组织界面清晰、病变范围小、周围

有明显硬化，无骨膜反应、软组织肿块、周围膨胀反应、增强扫描未出现强化可定义为良性。使用配套MRI动态增强扫描软件自动绘制TIC曲线，采用齐滋华^[10]分型，早期快速上升，短时间达到峰值后下降为I型；早期快速上升，短时间达到峰值后改为缓慢上升或保持平台为II型；无陡直上升早期缓慢上升，强化无高峰为III型；无上升或细微上升，接近平坦曲线无峰值为IV型。对应测量MRI动态增强扫描参数：TIC曲线最大上升率、峰值时间、信号增强比率、正性增强评分

1.4 统计学方法 本研究选用SPSS 26.0及MedCalc18.2软件进行数据的分析，计量资料采用($\bar{x} \pm s$)来表示，t检验；计数资料以%表示， χ^2 检验。使用Kappa一致性分析MRI动态增强扫描诊断肌骨肿瘤与瘤样病变与金标准的一致性。MRI动态增强扫描TIC曲线类型使用秩和检验。使用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析各参数对肌骨肿瘤与瘤样病变的诊断价值。以P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组形态学特征、信号征象比较 恶性组与良性组边缘、边界、强化比较，差异有统计学意义(P<0.05)；恶性组与良性组信号、是否合并骨髓水肿比较，差异无统计学意义(P>0.05)，见表1。

2.2 以手术病理结果为金标准，MRI动态增强扫描诊断肌骨肿瘤与瘤样病变与金标准的一致性分析 以手术病理结果为金标准，MRI动态增强扫描诊断肌骨肿瘤与瘤样病变与金标准的Kappa值为0.730，说明诊断一致性较高(P<0.05)。以手术病理结果为金标准，MRI动态增强扫描诊断肌骨肿瘤与瘤样病变敏感度、特异度、准确率、良性预测值、恶性预测值分别为86.27%、87.88%、86.90%、80.56%、91.67%。见表2。

2.3 两组MRI动态增强扫描TIC曲线类型比较 恶性组患者以II型最为常见，见图1~2。良性组患者以III型最为常见，见图3~4。秩和检验发现恶性组与良性组MRI动态增强扫描TIC曲线类型比较有极显著差异(P<0.05)，见表3。

表1 两组形态学特征、信号征象比较[例(%)]

形态学特征	恶性组(n=51)	良性组(n=33)	χ^2	P
边缘				
规则	9(31.03)	20(68.97)	16.357	<0.001
不规则	42(76.36)	13(23.64)		
边界				
清晰	4(15.38)	22(84.62)	32.439	<0.001
不清晰	47(81.03)	11(18.97)		
信号				
均匀	7(41.18)	10(58.82)	3.411	0.065
不均匀	44(65.67)	23(34.33)		
合并骨髓水肿				
是	21(58.33)	15(41.67)	0.150	0.699
否	30(62.50)	18(37.50)		
强化				
无强化	1(16.67)	5(83.33)	14.256	0.001
轻度强化	16(45.71)	19(54.29)		
明显强化	34(79.07)	9(20.93)		

表2 以手术病理结果为金标准，MRI动态增强扫描诊断

肌骨肿瘤与瘤样病变与金标准的一致性分析

MRI动态增强扫描	病理恶性	病理良性	Kappa
恶性	44	4	0.730
良性	7	29	

表3 两组MRI动态增强扫描TIC曲线类型比较

组别	例数	I型	II型	III型	IV型
恶性组	51	15	22	12	2
良性组	33	1	11	17	4
Z		3.71			
P		<0.001			

2.4 两组MRI动态增强参数比较 恶性组TIC曲线最大上升率大于良性组，峰值时间短于良性组($P < 0.05$)，恶性组信号增强比率、正性增强评分与良性组比较无统计学差异($P > 0.05$)见表4。

2.5 MRI动态增强参数诊断肌骨肿瘤与瘤样病变的ROC曲线分析 选择单因素分析中有统计学差异的MRI动态增强参数作为自变量，

肌骨肿瘤与瘤样病变病灶良恶性作为因变量进行ROC曲线分析，并使用Logistic逐步回归计算方法将各指标逐步联合后再使用ROC曲线分析其联合诊断效能，结果显示TIC曲线最大上升率、峰值时间、二者联合诊断肌骨肿瘤与瘤样病变病灶良恶性的ROC曲线下面积分别为0.756、0.805、0.846($P < 0.05$)。见表5、图5。

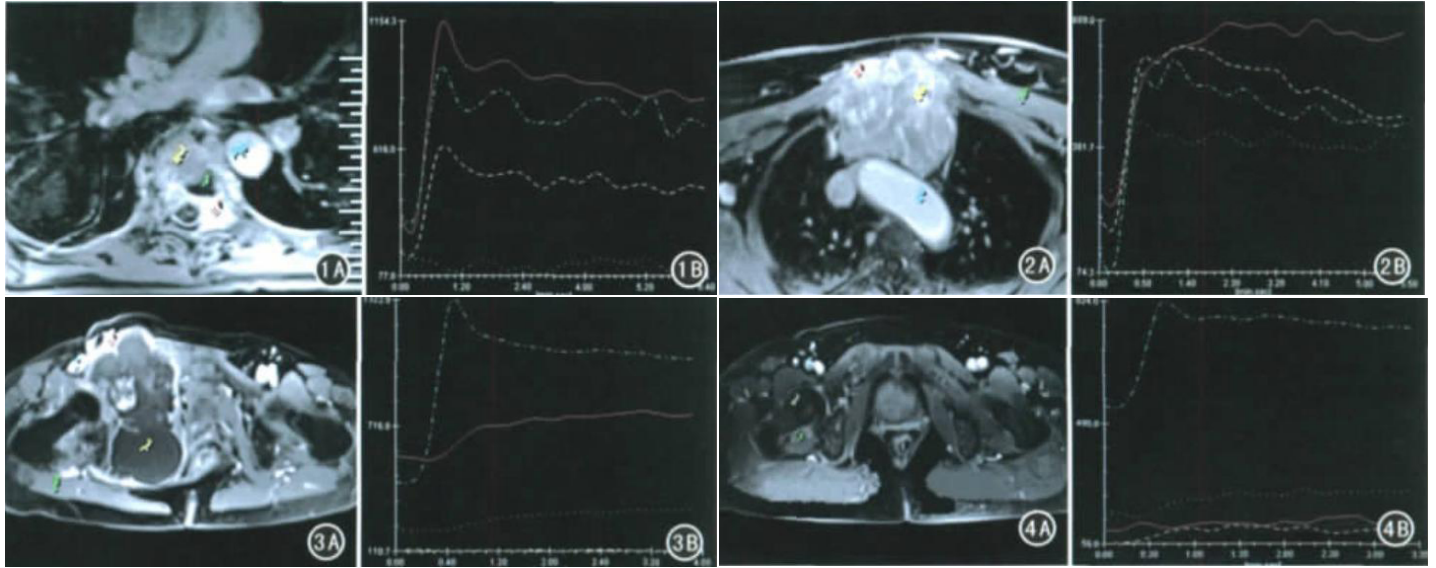


图1 T₁₂椎体及左侧附件纤维母细胞型骨肉瘤。图1A: 动态增强T1WI +脂肪抑制; 图1B: TIC曲线呈现I型曲线。

图2 胸骨柄、胸骨体浆细胞型骨髓瘤。图2A: 为动态增强T1WI +脂肪抑制, 图2B: TIC曲线呈现II型曲线。

图3 右侧耻骨软骨肉瘤, 图3A: 动态增强T1WI +脂肪抑制, 图3B: TIC曲线呈现III型曲线。

图4 右侧股骨颈内生软骨瘤。图4A: 动态增强T1WI +脂肪抑制; 图4B: TIC曲线呈现IV型曲线。

表4 两组MRI动态增强参数比较

组别	例数	TIC曲线最大上升率(%)	峰值时间(s)	信号增强比率(%)	正性增强评分(分)
恶性组	51	371.45±74.11	81.98±19.43	115.09±38.23	364.82±75.43
良性组	33	290.48±54.39	112.65±33.72	120.88±42.47	357.87±61.69
t		5.401	5.288	0.649	0.442
P		<0.001	<0.001	0.518	0.660

表5 MRI动态增强参数诊断肌骨肿瘤与瘤样病变的效能

指标	AUC	P值	95%可信区间	截断值	敏感度(%)	特异度(%)
TIC曲线最大上升率	0.756	<0.001	0.651~0.843	>341.18 %	60.78	87.88
峰值时间	0.805	<0.001	0.704~0.883	<101.94 s	98.04	54.55
联合	0.846	<0.001	0.751~0.916	/	92.16	72.73

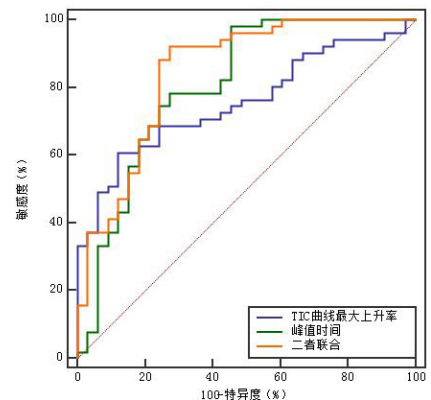


图5 MRI动态增强参数诊断肌骨肿瘤与瘤样病变的ROC曲线图。

3 讨论

现阶段,对于肌骨肿瘤的发生机制临床尚未完全明确,与患者遗传、基因、外部刺激等多种因素相关^[11]。对于良性肌骨肿瘤,治疗难度较低,患者通常能取得良好预后,而恶性肌骨肿瘤尚无特效治疗方法,根治性治疗难度极大,患者预后较差^[12]。同时还存在瘤样病变一类特殊肌骨肿瘤,其表现有恶性肿瘤的侵蚀特点,但无明显肿瘤细胞的形态学特征,较恶性肿瘤根治性治疗难度较低^[13]。因此,肌骨肿瘤与瘤样病变早期诊断对于患者治疗方案的制订及预后至关重要。

肌骨肿瘤与瘤样病变的诊断金标准为病理诊断,受限于各种局限性其通常作为最终诊断方法,因此提高首选诊断方法的诊断效能具有重要意义^[14]。本研究结果显示,恶性组与良性组形态学特征、信号征象存在差异与重叠,这与既往结论相似,良性肌骨肿瘤与瘤样病变病理组织成分复杂,信号混杂,难以通过信号是否均匀、是否合并骨髓水肿判断。本研究结果显示,MRI动态增强扫描诊断肌骨肿瘤与瘤样病变与金标准的Kappa值为0.730,敏感度、特异度、准确率、良性预测值、恶性预测值分别为86.27%、87.88%、86.90%、80.56%、91.67%。这一研究结果表明,MRI动态增强扫描与病理结果对比的一致性较好,具有一定临床诊断价值。肌骨肿瘤与瘤样病变的明显差异在于恶性肿瘤具有侵蚀性且血管分布密集,同时病灶内胶原基质含量高,导致内部血管缺乏平滑肌细胞,受到外压刺激易出现“坍塌”,表现为血流灌注量低^[15]。本研究使用MRI动态增强扫描诊断肌骨肿瘤与瘤样病变,MRI动态增强扫描对于病灶内血流灌注与流出评估具有独特优势,可辅助评估病灶内新生微小血管密度、分布情况,血管密度大、分布密集则提示恶性程度高。扫描早期注射对比剂主要集中分布于血管腔内,短暂时间后会逐渐扩散到血管外,其扩散速度与血管通透性和表面积密切相关。高血管通透性与大血管表面积反映为对比剂扩散速度快。而恶性病灶血管通透性高,体现为与良性病灶TIC曲线类型有显著差异^[16]。TIC曲线分为4种类型,早期陡直的上阶段表明病灶内血管化程度高、血流灌注丰富,即瘤体组织与同层面动脉血管的TIC第一相相似,这体现在本研究中,恶性组患者TIC曲线以I、II型最多,同时也存在部分良性肿瘤血供丰富,多表现为II型。反之,血管化程度低、血流灌注不丰富病灶以良性肿瘤为主,表现为III、IV型。在上述结论基础上进一步分析了恶性组与良性组患者MRI动态增强参数,发现恶性组TIC曲线最大上升率大于良性组,峰值时间短于良性组,这提示了TIC曲线最大上升率、峰值时间可作为肌骨肿瘤与瘤样病变诊断辅助评估指标。这是因为恶性病灶细胞增殖程度更高,生长迅速导致病灶密度高,同时伴有更多新生血管,血流灌注丰富,可在更短时间内到达峰值^[17]。进一步进行ROC曲线分析显示TIC曲线最大上升率、峰值时间、二者联合诊断肌骨肿瘤与瘤样病变病灶良恶性的ROC曲线下面积分别为0.756、0.805、0.846。这一研究结果再次证实了上述观点。良、恶性病灶内部血管分布特征有显著差异,对肌骨肿瘤与瘤样病变诊断具有一定价值。

综上所述,MRI动态增强扫描诊断肌骨肿瘤与瘤样病变与手术结果一致性高,MRI动态增强扫描的TIC曲线对肌骨肿瘤与瘤样病变诊断具有一定价值,TIC曲线最大上升率、峰值时间可作为辅助评估指标。另一方面本次研究也存在一定不足之处:①本次研究纳入样本量太少且均为我院单中心患者,研究结果可能具有偶然性。②MRI技术依赖于图像成像质量与医师的诊断技术,可能受到医师主观性因素干扰。

参考文献

- [1]何敬凯,刘叶.CT联合CE-MRI、DWI在骨肿瘤、肿瘤样病变鉴别诊断中的应用研究[J].医学影像学杂志,2023,33(5):847-851.
- [2]Li X,Hu Y,Xie Y,et al.Whole-tumor histogram analysis of diffusion-weighted imaging and dynamic contrast-enhanced MRI for soft tissue sarcoma:correlation with HIF-1 α expression[J].Eur Radiol,2023,33(6):3961-3973.
- [3]Noebauer-Huhmann IM,Vanhoenacker FM,Vilanova JC,et al.Soft tissue tumor imaging in adults:European Society of Musculoskeletal Radiology-Guidelines 2023-overview,and primary local imaging:how and where[J]? Eur Radiol,2024,34(7):4427-4437.
- [4]徐书豪,斯光晏,张训,等.常规磁共振成像及磁共振弥散张量成像对肌骨肿瘤的鉴别诊断价值研究[J].中国医学装备,2022,19(12):76-79.
- [5]张力莹,郝济森,殷星,等.动态增强MRI联合集合序列对乳腺良恶性病变的诊断价值[J].临床放射学杂志,2021,40(8):1495-1499.
- [6]袁道,李玮,马冯慧,等.CT联合DCE-MRI在鉴别骶尾部骨巨细胞瘤和脊索瘤的价值研究[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(5):152-154.
- [7]Teo KY,Daescu O,Cederberg K,et al.Correlation of histopathology and multi-modal magnetic resonance imaging in childhood osteosarcoma:Predicting tumor response to chemotherapy[J].PLoS One,2022,17(2):e0259564.
- [8]Hao Y,An R,Xue Y,et al.Prognostic value of tumoral and peritumoral magnetic resonance parameters in osteosarcoma patients for monitoring chemotherapy response[J].Eur Radiol,2021,31(5):3518-3529.
- [9]胥少汀.实用骨科学[M].4版.北京:人民军医出版社,2012:1012-1018.
- [10]齐溢华.3T磁共振功能成像对肌骨肿瘤的应用研究[D].山东:山东大学,2006.
- [11]王军辉,宋青凤,郭会利,等.骨样骨瘤⁹⁹Tcm-MDP SPECT/CT特征[J].中国医学影像技术,2021,37(8):1205-1209.
- [12]Valenzuela RF,Madewell JE,Kundra V,et al.Advanced imaging in musculoskeletal oncology:moving away from RECIST and embracing advanced bone and soft tissue tumor imaging (ABASTI)-part II-Novel functional imaging techniques[J].Semin Ultrasound CT MR,2021,42(2):215-227.
- [13]Li X,Xie Y,Hu Y,et al.Soft tissue sarcoma:correlation of dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging features with HIF-1 α expression and patient outcomes[J].Quant Imaging Med Surg,2022,12(10):4823-4836.
- [14]王伟玮,陈思敏,王奕阳,等.磁共振动态对比增强联合血清TSGF、ICTP、ALP对骨肿瘤良恶性鉴别和骨恶性肿瘤治疗后的疗效评估价值[J].现代生物医学进展,2023,23(23):4516-4520.
- [15]徐秋妍,何建灵,黄庆艳.DCE-MRI联合miR-21、miR-92a在骨肿瘤良恶性鉴别及疗效评估中的价值[J].中国医师杂志,2021,23(4):548-552.
- [16]Kalisvaart GM,van der Heijden L,Navas Cañete A,et al.Characterization of denosumab treatment response in giant cell tumors of bone with dynamic contrast-enhanced MRI[J].Eur J Radiol,2023,167:111070.
- [17]陈小龙,安改丽,寇明清,等.动态对比增强磁共振和CT检查对良恶性骨肿瘤的鉴别诊断的研究[J].医学影像学杂志,2020,30(10):1902-1907.

(收稿日期:2024-08-21)

(校对编辑:韩敏求)