

动态对比增强 MR 灌注成像对脊柱良、恶性压缩性骨折的鉴别诊断价值

查云飞 肖学红 李茂进 杨建勇

中图分类号: R683 R443 文献标识码: A 文章编号: 1006-7108(2009)01-0044-06

摘要:目的 探讨动态对比增强 MR 灌注成像参数和时间-信号强度曲线(TIC)特征对脊柱良、恶性压缩性骨折的鉴别诊断价值。方法 选择胸、腰椎体骨质疏松伴椎体急性压缩性骨折(ACF)40例(69个椎体)、胸、腰椎体恶性压缩性骨折(MCF)40例(85个椎体)和36例与病变组年龄、性别相适配的正常腰椎进行钆剂T₁WI动态对比增强MR灌注成像,绘制压缩椎体和正常椎体的TIC并计算压缩椎体的峰值增强百分率(E_{max})、增强斜率(ES)和到达峰值时间(TTP)。结果 骨质疏松急性压缩性骨折组、恶性肿瘤压缩性骨折组与正常对照组间E_{max}、ES、TTP分别相比较,差异有显著统计学意义(*q*值分别为11.1997、9.7389、10.9449、9.7517、4.1366、6.4634, *P*值均<0.01),但是骨质疏松急性压缩组与恶性肿瘤压缩性骨折组间E_{max}、ES、TTP相比较,差异均无统计学意义(*q*值分别为1.4998、1.2259、2.3905, *P*值均>0.05)。TIC类型在脊柱良、恶性压缩性骨折组间分布的差别有显著统计学意义($\chi^2 = 53.006$, *P*<0.001)。骨质疏松急性压缩性骨折组的E型TIC所占比例最大,达80.0%(32/40),恶性肿瘤压缩性骨折组的D型TIC所占比例最大,达40%(16/40)。正常对照组无一例表现为E型TIC。C型和D型TIC在正常对照组分别占38.89%(14/36)和61.11%(22/36)。E型TIC对骨质疏松急性压缩性骨折的敏感性为80.0%、特异性为67.5%、准确性为73.75%、阳性预测值为71.11%、阴性预测值为77.14%。D型TIC对恶性肿瘤压缩性骨折的敏感性为40.0%、特异性为97.50%、准确性为68.75%、阳性预测值94.12%、阴性预测值为61.90%。结论 基于动态对比增强MR灌注成像首过效应的峰值增强率、增强斜率和峰值到达时间参数并不能有效鉴别骨质疏松急性压缩性骨折和椎体恶性肿瘤伴压缩性骨折,但是时间-信号强度曲线类型对鉴别诊断是有帮助的。

关键词: 脊柱;骨折;磁共振;对比增强;灌注

Dynamic contrast-enhanced MR perfusion imaging of benign and malignant vertebral compression fractures

ZHA Yunfei, XIAO Xuehong, LI Maojin, et al. Department of Radiology, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, China

Abstract: **Objective** To investigate the value of dynamic contrast-enhanced MR perfusion imaging of benign and malignant vertebral compression fractures by analysis of perfusion parameters and the distribution of the time-intensity curve (TIC) patterns. **Methods** Dynamic gadolinium-enhanced MR perfusion imaging was performed on 40 patients with acute osteoporotic compression fracture (ACF), 40 patients with malignant compression fracture (MCF) and 36 age and sex-matched control subjects, respectively. Peak enhancement percentage (E_{max}), enhancement slope (ES) and time to peak (TTP) were determined from TIC. Types of TIC of compressed and normal vertebral body were also defined. **Results** E_{max}, ES and TTP values were significantly different between compression fracture group and normal control group (*q* = 11.1997, 9.7389, 10.9449, 9.7517, 4.1366 and 6.4634, respectively, *P* < 0.01). However, E_{max}, ES and TTP values were not significantly different between ACF and MCF group (*q* = 1.4998, 1.2259 and 2.3905, respectively, *P* > 0.05). The distribution of TIC patterns were significantly different between benign and malignant compression fracture ($\chi^2 = 53.006$, *P* < 0.001). Type E

作者单位: 430060 武汉 武汉大学人民医院放射科(查云飞、李茂进); 中山大学附属中山医院放射影像中心MR室(肖学红); 中山大学附属第一医院放射科(杨建勇)

通讯作者: 杨建勇, Email: tjr.jianyong@vip.163.com

curve accounted for 80.0%(32/40) in ACF , and type D curve 40%(16/40) in MCF group . No one case of type E curve was showed in normal control group . Type C and type D curve accounted for 38.89%(14/36) , 61.11% (22/36) in normal control group , respectively . For acute osteoporotic compression fracture , the sensitivity , specificity accuracy , positive predictive value and negative predictive value of the type E curve were 80.0% , 67.5% , 73.75% , 71.11% and 77.14% , respectively , and for malignant compression fracture , the sensitivity , specificity accuracy , positive predictive value and negative predictive value of the type D curve were 40.0% , 97.50% , 68.75% , 94.12% and 61.90% , respectively . **Conclusion** In distinguishing acute osteoporotic from malignant compression fracture , E_{max} , ES and TTP values based on dynamic contrast-enhanced MR perfusion first-pass images may not be useful . However , the analysis of the TIC patterns would be helpful for the differential diagnosis .

Key words : Spine ; Fracture ; Magnetic resonance ; contrast enhancement ; Perfusion

原发骨质疏松症和恶性肿瘤骨髓浸润所致的脊柱压缩性骨折均表现为单椎体或多椎体压缩 , 可以伴或不伴有附件和椎旁软组织肿块 , 而且原发骨质疏松症合并有恶性肿瘤病史者亦不少见 . 常规 MRI 平扫、静态增强扫描在形态学方面有肯定的鉴别诊断价值^[1,2] . 国外文献报道 , 采用基于时间-信号强度曲线(time-intensity curve , TIC)的动态对比增强 MR 灌注成像可以评价脊柱良性压缩性骨折的血流灌注状态以及恶性压缩性骨折骨髓浸润的微循环特征^[3-5] , 而国内相关专题报道鲜见 . 本研究探讨动态对比增强 MR 灌注成像对原发骨质疏松症和恶性肿瘤骨髓浸润所致的脊柱压缩性骨折的鉴别诊断价值 .

1 材料和方法

1.1 研究对象

胸、腰椎体骨质疏松伴椎体急性压缩性骨折(acute compression fracture , ACF)组 40 例 , 其中男性 15 例 , 女性 25 例 , 年龄 57 ~ 91 岁 , 平均(76.52 ± 8.69)岁 . 临床有或无明确外伤史 , 腰背痛症状持续时间 1 ~ 27 天 , 平均 7.6 天 . 所有病例均采用双能 X 线吸收仪(DXA)测量第 2 ~ 4 腰椎正位、侧位骨密度(BMD) , 采用 WHO 推荐标准诊断为骨质疏松症 , 随访 6 个月以上临床资料及影像学资料排除椎体肿瘤、血液系统疾病及全身系统性疾病 .

胸、腰椎体恶性压缩性骨折(malignant compression fracture , MCF)组 40 例 , 其中男性 24 例 , 女性 16 例 , 年龄 23 ~ 72 岁 , 平均(61.95 ± 12.36)岁 . 脊柱恶性肿瘤分别为肺癌转移 12 例 , 乳腺癌转移 2 例 , 食管癌转移 1 例 , 肝癌转移 1 例 , 胃癌转移 2 例 , 乙状结肠癌转移 1 例 , 前列腺癌转移 3 例 , 宫颈癌转移 1 例 , 鼻咽癌转移 4 例 , 多发骨髓瘤 8 例 , 非 Hodgking 淋巴瘤 2 例 , 另有 3 例椎体转移瘤原发病

灶不明确 . 本组 40 例中 , 经椎体穿刺活检证实转移性腺癌 13 例、鳞癌 1 例、未分化癌 4 例 , 手术病理证实转移性腺癌 2 例 , 血液学和骨髓穿刺结果提示多发性骨髓瘤 8 例、非 Hodgking 淋巴瘤 2 例 , 其余 10 例椎体转移瘤经临床、实验室检查或其他影像学资料证实其他器官发生原发恶性肿瘤 . 椎体穿刺活检、手术病理及血液学和骨髓穿刺结果显示 30 例肿瘤细胞或造血细胞在骨髓组织中所占比例均大于 50% .

另选同期行常规腰椎 MRI 检查未见异常的患者 36 例作为正常对照组 , 其中男性 12 例 , 女性 24 例 , 年龄 41 ~ 87 岁 , 平均(65.72 ± 16.02)岁 . 临床血、尿常规正常 , 体检排除急慢性外伤、截瘫、糖尿病、肥胖、脊柱手术或放疗史、严重的脊柱侧弯、脊柱后凸畸形及全身系统性疾病 .

1.2 检查设备及方法

所有受检者均在知情同意后进行本项临床研究 . 采用 1.5T 超导 MR 机(Gyroscan Intera , Philips Medical Systems , Netherlands) , 全脊柱相控阵线圈 . 先行常规 MRI 检查 : 矢状位 TSE-T₂ WK (TR 3000 ms , TE 120 ms) \ SE-T₁ WK (TR 480 ms , TE 11 ms) \ STIR (TR 2419 ms , TE 70 ms , TI 170 ms) , 层厚 4.0 mm , 层间隔 0.4 mm , FOV 325 mm × 325 mm .

所有患者在出现症状后 7 d 内接受 MRI 检查 . 动态对比增强 MR 灌注成像检查 : 序列采用 TFE-T₁ WI , 胸腰椎体正中矢状位 , 层厚 10 mm , TR 6.4 ms , TE 3.8 ms , 反转角 30° , FOV 350 mm × 350 mm , 扫描矩阵 224 × 224 . 磁共振压力注射器(MEDRAD , SPECTRIS)经肘静脉注射钆喷酸葡胺注射液(Gd-DTPA , 北京北陆药业股份有限公司) 15 ml , 流率 3 ml/s , 立即用生理盐水 20 ml 以相同流率冲洗连接管 , 注射对比剂的同时启动 TFE-T₁ WI 动态扫描 , 同层动态扫描 100 次 , 1 s/片 , 扫描总共持续时间约 100 s . 最

后行延迟增强矢状位 SE-T₁WI。

1.3 图像分析

在动态对比增强 MR 灌注成像图像上,沿正常椎体或压缩椎体皮质下手动勾画感兴趣区(ROI),每个椎体用 1 个 ROI 覆盖,避开终板、椎间盘退变区、椎基静脉丛和脑脊液(图 1)。利用随机 Gyroview 软件分别绘制 100 s 内正常椎体或压缩椎体的时间-信号强度曲线(TIC)。TIC 类型参照文献所述^[4,5](图 2),每个压缩椎体的 TIC 类型由 2 位副主任医师协商一致判定。椎体压缩性骨折判断标准为椎体高度减少 ≥ 20%。



图 1 动态对比增强 MR 灌注成像 压缩椎体正中矢状位 30 s 和 50 s 的 TFE-T₁WI

在 TIC 上确定峰值信号强度(SI_{max})、基线信号强度(SI_{base})、到达峰值时间(time to peak, TTP)及峰值爬升时间(T_{rise})。SI_{max} 定义为 TIC 上首次快速上升部分的的极大值,SI_{base} 定义为 TIC 上最初 3 幅图像

信号强度的平均值, TTP 为对比剂到达 SI_{max} 的时间点, T_{rise} 定义为 TIC 上从 SI_{base} 到 SI_{max} 之间的时间。

在离线工作站上利用 Microsoft Excel 2003 软件计算灌注参数,公式如下:

$$\text{峰值增强百分率}(E_{\text{max}}) = (SI_{\text{max}} - SI_{\text{base}}) / SI_{\text{base}} \times 100\%$$

$$\text{增强斜率}(ES) = (SI_{\text{max}} - SI_{\text{base}}) / (SI_{\text{base}} \times T_{\text{rise}}) \times 100\%$$

多个椎体压缩性骨折,分别计算每个压缩椎体的灌注参数,取平均值作为每个受检者的最终灌注参数。正常对照组在 L₁₋₅ 椎体内任选 3 个椎体,计算 3 个椎体的各个灌注参数的平均值作为每个受检者的最终灌注参数,上述测量和计算由同 1 位副主任医师完成。

1.4 统计学处理

采用 SPSS 13.0 统计分析软件,采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)比较各组间 E_{max}、ES 和 TTP 的差异,各组间 E_{max}、ES 和 TTP 的两两比较采用(S-N-K)法 q 检验;采用 χ² 检验中 Fisher 精确概率法比较不同的 TIC 类型在脊柱良、恶性压缩性骨折组间分布的差异。所有统计分析结果以 P < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

骨质疏松急性椎体压缩 40 例,其中单发椎体骨折 24 例,多发椎体骨折 16 例,共 69 个椎体压缩性骨折。恶性肿瘤椎体压缩 40 例,其中单发椎体骨折 17 例,多发椎体骨折 23 例,共 85 个椎体压缩性骨折。

各组研究对象的年龄构成差异无统计学意义(q 值分别为 1.2696、1.2568、1.1305, P 值均 > 0.05)。骨质疏松急性压缩组、恶性肿瘤组的 E_{max}、ES 显著高于正常对照组, TTP 低于正常对照组,差

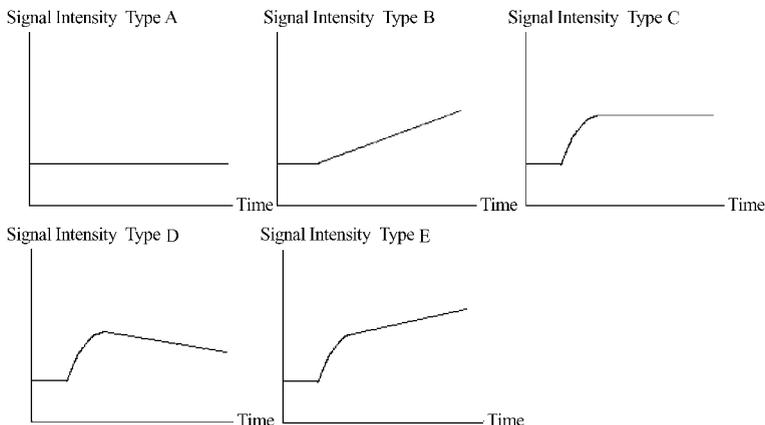


图 2 椎体动态对比增强 MR 灌注成像的 TIC 模式图

异均有显著统计学意义(q 值分别为 11.1997、9.7389、10.9449、9.7517、4.1366、6.4634, P 值均 < 0.01) ,但是骨质疏松急性压缩组与恶性肿瘤组间

E_{max} 、ES、TTP 相比较,差异均无统计学意义(q 值分别为 1.4998、1.2259、2.3905, P 值均 > 0.05),见表 1。

表 1 脊柱良、恶性压缩性骨折 E_{max} 、ES 和 TTP 的比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	$E_{max}(\%)$		ES (%)		TTP(s)	
		Mean	95% CI	Mean	95% CI	Mean	95% CI
急性压缩组 (ACF)	40	196.79 \pm 10.98	164.50 ~ 229.09	7.60 \pm 0.64	6.11 ~ 9.08	45.27 \pm 2.33	42.29 ~ 48.25
恶性压缩组 (MCF)	40	215.30 \pm 14.47	188.29 ~ 242.32	8.23 \pm 0.22	7.20 ~ 9.26	41.56 \pm 2.20	38.61 ~ 44.50
正常对照组 (NC)	36	73.25 \pm 5.58	53.43 ~ 93.07	2.40 \pm 0.20	1.65 ~ 3.15	51.87 \pm 1.96	48.16 ~ 55.58
F 值		31.56		30.49		10.63	
P 值		< 0.01		< 0.01		< 0.01	

注 :ACF 组、MCF 组与 NC 组间 E_{max} 、ES、TTP 分别相比较,差异有显著统计学意义(q 值分别为 11.1997、9.7389、10.9449、9.7517、4.1366、6.4634, P 值均 < 0.01) ,但是 ACF 组与 MCF 组间 E_{max} 、ES、TTP 相比较,差异均无统计学意义(q 值分别为 1.4998、1.2259、2.3905, P 值均 > 0.05)

TIC 类型在脊柱良、恶性压缩性骨折组间分布的差别有显著统计学意义($\chi^2 = 53.006, P < 0.001$),见表 2, E 型 TIC 在骨质疏松急性压缩性骨折组所占比例最大,达 80.0%(32/40),见图 3, D 型 TIC 在恶性肿瘤压缩性骨折组所占比例最大,达 40%(16/40),见图 4。正常对照组无 1 例表现为 E 型 TIC。C 型和 D 型 TIC 在正常对照组分别占 38.89%(14/36)和 61.11%(22/36)。

E 型 TIC 诊断骨质疏松急性压缩性骨折的敏感性为 80.0%、特异性为 67.50%、准确性为 73.75%、阳性预测值为 71.11%、阴性预测值为 77.14%。D 型 TIC 诊断恶性肿瘤压缩性骨折的敏感性为 40.0%、特异性为 97.50%、准确性为 68.75%、阳性预测值 94.12%、阴性预测值为 61.90%。

表 2 脊柱良、恶性压缩性骨折的 TIC 分布

组别	类型					总计
	A	B	C	D	E	
急性压缩组 (ACF)			7	1	32	40
恶性压缩组 (MCF)			11	16	13	40
正常对照组 (NC)			14	22		36

3 讨论

3.1 动态对比 MR 灌注成像参数对脊柱良、恶性压缩性骨折的鉴别诊断价值

脊柱良、恶性压缩性骨折的 T_1 WI 动态对比增强 MR 灌注成像的首过效应在 TIC 表现为峰值信号强

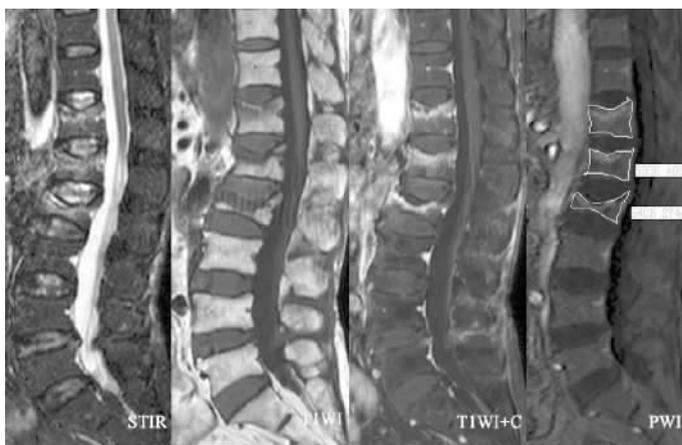


图 3A 骨质疏松伴 Th12、L₁ 和 L₂ 椎体急性压缩性骨折

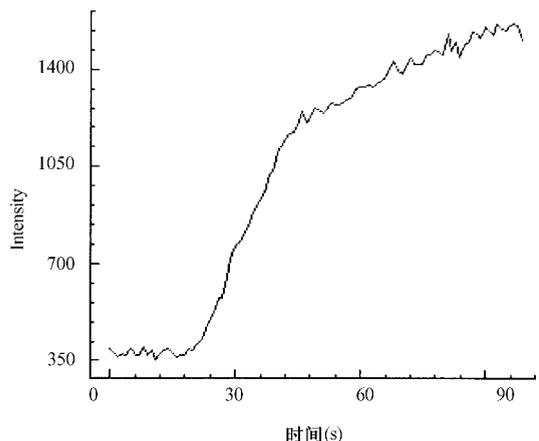
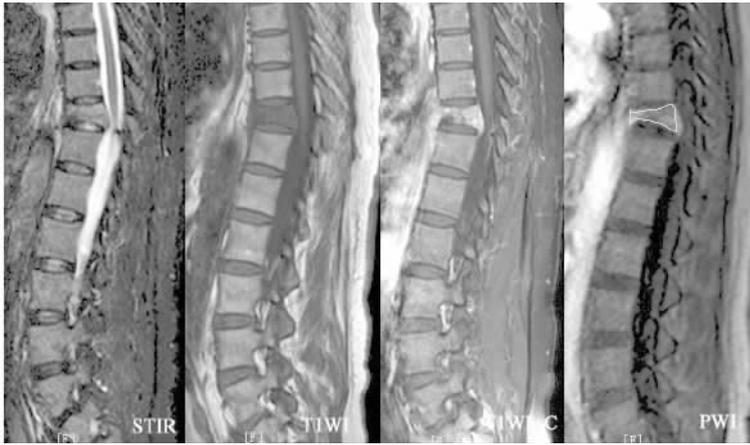
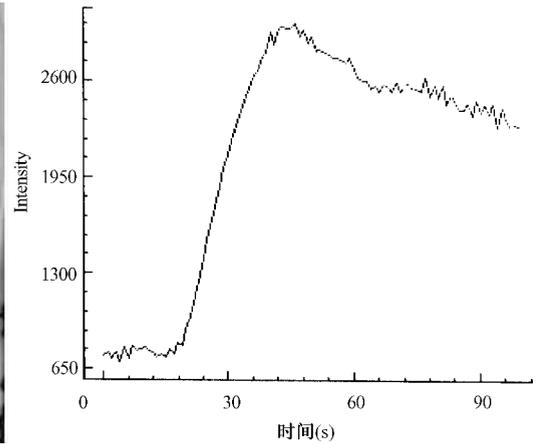


图 3B L₂ 压缩椎体显示 E 型 TIC

图 4A 肺癌 Th_{11} 椎体转移伴压缩性骨折图 4B Th_{11} 压缩椎体显示 D 型 TIC

度和基线信号强度之间的快速上升阶段,此期对比剂从椎体动脉血管网快速进入细胞外间隙,由于对比剂的首过效应主要由椎体骨髓的微血管化和灌注状态决定, E_{max} 和 ES 反映了骨髓血液的流入、流出、转运以及影响细胞外室对比剂浓度的血管通透性因素^[6,7]。压缩椎体骨髓内丰富的新生血管形成以及血管通透性改变是导致灌注参数变化的主要原因。脊柱骨质疏松压缩性骨折后,椎体经历缺血变化-骨髓水肿-血流增加-血流恢复-脂肪再生的复杂病理过程^[8]。急性期修复过程中椎体骨髓水肿和出血并存,椎体松质骨折间隙内小血肿机化,开始出现肉芽组织或少量纤维组织和小灶性软骨组织^[9]。富血管的肉芽组织引起的血流增加效应在动态对比增强 MR 灌注成像上表现为 E_{max} 和 ES 显著增加以及 TTP 降低,常规 T_1WI 增强扫描也显示压缩椎体边缘或整个压缩椎体呈显著强化征象,这与 Chen 等^[4]的研究结果一致。慢性期修复过程中创伤区水肿和机化组织被完全清除,压缩椎体内大量脂肪组织替代,血流灌注会逐渐恢复正常。

大量基础和临床研究已经证实各种实体瘤的骨髓转移、恶性血液肿瘤(白血病、多发性骨髓瘤和恶性淋巴瘤等)的骨髓浸润表现为肿瘤细胞导致的破骨活动增加、血管生成和血管通透性的改变,动态对比增强 MR 灌注成像可以反映恶性肿瘤骨髓浸润的微循环状态^[3,6,10-13]。本研究结果也显示椎体恶性肿瘤伴压缩性骨折的 E_{max} 、ES 较正常对照组显著增加,与国外文献报道一致,但是压缩椎体 TTP 的降低未见诸其他文献报道。

由于椎体恶性肿瘤伴压缩性骨折和骨质疏松急性压缩性骨折均表现为 E_{max} 和 ES 显著增加, TTP 降

低,而且灌注参数的 95% 可信区间存在重叠。笔者认为基于动态对比增强 MR 灌注成像首过效应的 E_{max} 、ES 和 TTP 并不能有效鉴别这两类椎体压缩性骨折。

3.2 动态对比 MR 灌注成像 TIC 特征对脊柱良、恶性压缩性骨折的鉴别诊断价值

TIC 上在增强峰值信号强度时间点,毛细血管网和细胞间质的对比剂浓度达到平衡,毛细血管的通透性和间质的成分决定了首过效应之后的 TIC 特征,可以表现为进一步上升、平台期或早期下降(对比剂早期流出)^[6,7]。对于不同病因的脊柱压缩性骨折,椎体骨髓毛细血管基底膜的渗透性、骨髓浸润的细胞构筑、间质的成分和间隙大小等是对比剂首过效应之后 TIC 特征的主要决定因素。

C 型 TIC 在动态扫描早期有一快速上升的斜率并达到峰值,随后紧接一信号强度变化相对稳定的平台期, C 型 TIC 多见于骨质疏松慢性压缩性骨折和正常椎体。D 型 TIC 在动态扫描早期有一短促急速上升的斜率并达到峰值,随后紧接对比剂廓清,曲线缓慢下降。Chen 等^[4]发现 D 型 TIC 对脊柱转移性肿瘤有很高的阳性预测值(100%),由于椎体恶性肿瘤具有高度密集的肿瘤细胞构筑,细胞间质成分缺乏,细胞间隙很小,对比剂快速流入后常出现对比剂早期廓清,血管外对比剂浓度快速降低。本组资料 D 型 TIC 诊断恶性肿瘤压缩性骨折的特异性高达 97.50%,阳性预测值 94.12%,而且 75%(30/40)的病例椎体活检和手术病理检查显示压缩椎体骨髓内肿瘤细胞均为重度浸润,也支持这一观点。但是, D 型 TIC 诊断恶性肿瘤压缩性骨折的敏感性较低,仅为 40.0%,如果仅靠 D 型 TIC 判断椎体压缩性骨折的良恶性可能会出现较大比例的假阴性结果。

E型TIC在动态扫描早期有一快速上升的斜率,然后紧接一个二次缓慢上升期。Chen等^[4]发现E型TIC对良性压缩性骨折的阳性预测值为85.7%,由于急性压缩性骨折修复过程处于炎症反应和充血期,炎性细胞浸润伴有血管增生、扩张,更多的对比剂会渗漏到血管外间隙不能通过静脉及时引流达到平衡,因此E型TIC在快速上升后紧随出现缓慢二次上升趋势。笔者认为椎体急性压缩性骨折导致骨髓静脉窦受损及液体渗出导致组织间隙静水压升高,引流静脉汇流受阻也是E型TIC出现二次缓慢上升期的重要原因,通过双室模型深入研究对比剂滞留时间、毛细血管通透性参数有可能提供更多的佐证。本组资料E型TIC诊断骨质疏松急性压缩性骨折的敏感性为80.0%、特异性为67.5%、准确性为73.75%,有较高的临床应用价值。

不容忽视的是恶性肿瘤压缩性骨折组出现E型TIC的13例中,有2例前列腺癌转移、2例鼻咽癌转移、2例非Hodgking淋巴瘤及6例多发性骨髓瘤均为骨髓弥漫浸润伴椎体压缩性骨折。我们推测由于血管新生与实体瘤和恶性血液肿瘤的浸润程度及转移密切相关,这些病例的脊柱骨髓弥漫浸润伴椎体压缩性骨折时大量肿瘤血管通透性增高以及新生血管基底膜不完整导致大量对比剂持续、缓慢漏出到血管外间隙,TIC在快速上升后紧随出现缓慢二次上升趋势。脊柱骨髓弥漫浸润伴压缩性骨折出现E型TIC是否能提示恶性肿瘤骨髓浸润程度更高,还有待于进一步椎体活检进行病理血管新生检测与MR灌注成像对照研究来证实。

本研究不足之处是仅评价了对比剂经椎体毛细血管进入细胞间质首过阶段的灌注参数 E_{max} 、ES和TTP,并未评价反映毛细血管渗透性、血管外容积的灌注参数,如容积转运常数(K^{trans})、血管外细胞外间隙容积分数(v_e)、表面通透性面积(PS),而且整个动态扫描时间持续仅100s,可能未反映对比剂首过效应之后由细胞间质廓清的全过程。TIC的病理生理基础仍有待采用双室数学模型的MR灌注成像的深入研究。

总之,基于动态对比增强MR灌注成像首过效应的峰值增强率、增强斜率和峰值到达时间参数并不能有效鉴别骨质疏松急性压缩性骨折和椎体恶性肿瘤伴压缩性骨折,但是时间-信号强度曲线类型对鉴别诊断是有帮助的。

【参 考 文 献】

- [1] Uetani M, Hashmi R, Hayashi K. Malignant and benign compression fractures: differentiation and diagnostic pitfalls on MRI. *Clinical Radiol*, 2004, 59(2): 124-131.
- [2] Yu CW, Hsu CY, Shih TT, et al. Vertebral osteonecrosis: MR imaging findings and related changes on adjacent levels. *Am J Neuroradiol*, 2007, 28(1): 42-47.
- [3] Scherer A, Wittsack HJ, Strupp C, et al. Vertebral fractures in multiple myeloma: first results of assessment of fracture risk using dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Ann Hematol*, 2002, 81(9): 517-521.
- [4] Chen WT, Shih TT, Chen RC, et al. Blood perfusion of vertebral lesions evaluated with gadolinium-enhanced dynamic MRI: in comparison with compression fracture and metastasis. *J Magn Reson Imaging*, 2002, 15(3): 308-314.
- [5] Tokuda O, Hayashi N, Taguchi K, et al. Dynamic contrast-enhanced perfusion MR imaging of diseased vertebrae: analysis of three parameters and the distribution of the time-intensity curve patterns. *Skeletal Radiol*, 2005, 34(10): 632-638.
- [6] Savvopoulou V, Maris TG, Vlahos L, et al. Differences in perfusion parameters between upper and lower lumbar vertebral segments with dynamic contrast-enhanced MRI (DCE MRI). *Eur Radiol*, 2008, 18(9): 1876-1883.
- [7] Shih TT, Liu HC, Chang CJ, et al. Correlation of MR lumbar spine bone marrow perfusion with bone mineral density in female subjects. *Radiology*, 2004, 233(1): 121-128.
- [8] Shih TT, Huang KM, Li YW. Solitary vertebral collapse: distinction between benign and malignant causes using MR patterns. *J Magn Reson Imaging*, 1999, 9(5): 635-642.
- [9] Wang CG, Xiao XS, Shen TZ, et al. MRI of cancellous bone fracture and its healing in vertebral body. *Chin J Orthop*, 1997, 17(4): 63-65 (in Chinese).
- [10] Moehler TM, Hawighorst H, Neben K, et al. Bone marrow microcirculation analysis in multiple myeloma by contrast-enhanced dynamic magnetic resonance imaging. *Int J Cancer*, 2001, 93(6): 862-868.
- [11] Nosas-Garcia S, Moehler T, Wasser K, et al. Dynamic contrast-enhanced MRI for assessing the disease activity of multiple myeloma: a comparative study with histology and clinical markers. *J Magn Reson Imaging*, 2005, 22(1): 154-162.
- [12] Mouloupoulos LA, Maris TG, Papanikolaou N, et al. Detection of malignant bone marrow involvement with dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Ann Oncol*, 2003, 14(1): 152-158.
- [13] Zhang L, Yang ZY, Alex GP. Characteristics of bone marrow with dynamic contrast-enhanced MR imaging in patients with haematological malignancies: preliminary results. *Chin J Radiol*, 2007, 41(3): 269-273 (in Chinese).

(收稿日期:2008-07-10)