

✧ 骨骼肌肉影像学

Iterative decomposition of water and fat with echo asymmetrical and least-squares estimation quantitation sequence (IDEAL-IQ) for diagnosis of multiple myeloma bone disease

XIA Zhenyuan, MO Xinxin, WEI Lina, LAN Lan, WEI Yuanfang, LI Weixiong*

(Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530007, China)

[Abstract] **Objective** To analyze the value of iterative decomposition of water and fat with echo asymmetrical and least-squares estimation quantitation sequence (IDEAL-IQ) for diagnosis of multiple myeloma bone disease (MMBD). **Methods**

Totally 30 MMBD patients (case group) and 30 healthy volunteers (control group) underwent lumbar MR examination, including sagittal T1WI, T2WI and IDEAL-IQ sequence. The differences of T1WI signal (S_{T1WI}), T2WI signal (S_{T2WI}), fat fraction (FF), fat signal (S_{Fat}) and water signal (S_{Water}) between 2 groups were compared. Receiver operating characteristic curve was performed to estimate the diagnostic efficacy of the above MRI parameters for MMBD. **Results** The S_{T1WI} , FF and S_{Fat} values in case group were lower, and the S_{T2WI} , S_{Water} values were higher than those in control group (all $P < 0.01$). The area under the curve of MMBD diagnosed by S_{T1WI} , S_{T2WI} , FF, S_{Fat} , and S_{Water} were 0.93, 0.84, 0.98, 0.95, and 0.83, respectively. FF had better diagnostic efficacy than S_{T2WI} and S_{Water} ($P = 0.02, 0.01$). **Conclusion** IDEAL-IQ could effectively diagnose MMBD, especially with the quantitative parameter FF.

[Keywords] multiple myeloma; lumbar vertebrae; magnetic resonance imaging; water-fat separation

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2023.05.022

非对称回波最小二乘估算法水脂迭代分离量化序列 (IDEAL-IQ) 诊断多发性骨髓瘤骨病

夏振元, 莫欣鑫, 韦丽娜, 蓝 岚, 韦远芳, 李伟雄*

(广西医科大学第二附属医院放射科, 广西 南宁 530007)

[摘要] **目的** 分析非对称回波最小二乘估算法水脂迭代分离量化序列 (IDEAL-IQ) 对多发性骨髓瘤骨病 (MMBD) 的诊断价值。 **方法** 30 例 MMBD 患者 (病例组) 及 30 名健康志愿者 (对照组) 均接受腰椎 MR 检查, 包括矢状位 T1WI、T2WI 及 IDEAL-IQ 序列。对比 2 组间 T1WI 信号 (S_{T1WI})、T2WI 信号 (S_{T2WI})、脂肪分数 (FF)、脂肪信号 (S_{Fat}) 及水信号 (S_{Water}) 差异, 采用受试者工作特征曲线分析各 MRI 参数对 MMBD 的诊断效能。 **结果** 病例组 S_{T1WI} 、FF 及 S_{Fat} 均低于、 S_{T2WI} 、 S_{Water} 均高于对照组 (P 均 < 0.01)。 S_{T1WI} 、 S_{T2WI} 、FF、 S_{Fat} 及 S_{Water} 诊断 MMBD 曲线下面积分别为 0.93、0.84、0.98、0.95 及 0.83; FF 诊断效能优于 S_{T2WI} 及 S_{Water} ($P = 0.02, 0.01$)。 **结论** IDEAL-IQ 可有效诊断 MMBD, 尤以定量参数 FF 的诊断效能更优。

[关键词] 多发性骨髓瘤; 腰椎; 磁共振成像; 水脂分离

[中图分类号] R733.3; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2023)05-0737-04

[基金项目] 广西壮族自治区卫生健康委员会自筹经费科研课题项目 (Z20210576)、广西医科大学第二附属医院研究生导师科研专项基金项目 (EFYKY2021008)。

[第一作者] 夏振元 (1986—), 男, 广西南宁人, 硕士, 主治医师。研究方向: 骨骼肌肉影像学诊断及血液病影像评估。E-mail: 2455096787@qq.com

[通信作者] 李伟雄, 广西医科大学第二附属医院放射科, 530007。E-mail: liwx668@sina.com

[收稿日期] 2023-01-02 **[修回日期]** 2023-03-20

多发性骨髓瘤骨病 (multiple myeloma bone disease, MMBD) 是因骨髓瘤溶骨性骨质破坏所导致的骨痛、骨质疏松、病理性骨折、高钙血症及脊髓、神经根继发性受压等临床并发症的总称,常累及脊柱、骨盆及胸廓诸骨等^[1-2]。准确评估及诊断 MMBD,有利于治疗疾病并改善预后^[3]。随着 MR 脂肪定量技术的发展,非对称回波最小二乘估算法水脂迭代分离序列 (iterative decomposition of water and fat with echo asymmetrical and least-squares estimation quantitation sequence, IDEAL-IQ) 可实现水脂分离,其定量指标脂肪分数 (fat fraction, FF) 可反映组织脂肪含量。MMBD 的发生发展常伴随骨髓中水脂成分改变^[4-5]。本研究观察 IDEAL-IQ 对 MMBD 的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2019 年 1 月—2022 年 12 月 30 例于广西医科大学第二附属医院确诊的 MMBD 患者 (病例组),男 16 例、女 14 例,年龄 38~80 岁、平均 (59.9±9.6) 岁。纳入标准:①经骨髓穿刺确诊 MMBD;②首诊 MMBD,未经过任何治疗;③MRI 资料完整,且图像满足要求;④腰椎病变类型为弥漫型或以弥漫型为主的混合型。排除合并严重代谢性、自身免疫性等明显影响骨代谢的患者。另选同期健康志愿者 30 名为对照组,男 15 名、女 15 名,年龄 35~81 岁、平均 (58.8±9.5) 岁。本研究获院伦理委员会批准 [伦审 2023(KY-0278) 号]。

1.2 仪器与方法 采用 GE SIGNA™ Pioneer 3.0T MR 仪及 32 通道脊柱线圈。嘱患者仰卧,头先进,磁场中心位于脐下 2 cm 处。扫描序列及参数:矢状位 T1WI,采用快速自旋回波序列,TR 750 ms,TE 8.1 ms,FOV 320 mm×320 mm,层厚 3.5 mm,矩阵 320×224, NEX 1;矢状位 T2WI,采用快速自旋回波序列联合三点法非对称回波水脂分离成像技术,TR 4 000 ms,TE 103 ms,FOV 320 mm×320 mm,层厚 3.5 mm,矩阵 320×192, NEX 1;矢状位 IDEAL-IQ, TR 7.7 ms, TE 1.1~5.9 ms (6 个),FOV 320 mm×320 mm,层厚 3.5 mm,矩阵 160×160, NEX 2。

1.3 分析图像 由 2 名具有 10 年以上工作经验的影像科主治医师分析图像。IDEAL-IQ 扫描完成后系统自动迭代重建脂肪分数图 (Fatfrac 图)、脂图 (Fat 图) 和水图 (Water 图)。将图像传入 PACS 系统,同时打开 T1WI、T2WI、Fatfrac、Fat 及 Water 图。以 T2WI 为基准,在 L1~L5 椎间孔正中或其邻近层面、选择弥漫型病灶区勾画 ROI,ROI 大小为椎体切面的 2/3~3/4。复制该 ROI 并分别粘贴到其他序列图上,获得 ROI 内 T1WI 信号 (T1WI signal, S_{T1WI})、T2WI 信号 (T2WI signal, S_{T2WI})、FF、脂肪信号 (fat signal, S_{Fat}) 和水信号 (water signal, S_{Water})。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 22.0 统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 表示符合正态分布的计量资料,组间比较采用 t 检验;不符合正态分布者以中位数 (上下四分位数) 表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料比较采用 χ^2 检验。以受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析各参数对 MMBD 的诊断效能,并以 DeLong 检验进行比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2 组性别、年龄及体质质量指数 (body mass index, BMI) 差异均无统计学意义 (P 均 < 0.01),见表 1。

表 1 MMBD 患者与健康对照者一般资料比较

组别	性别 (例/名)		年龄 (岁)	BMI (kg/m ²)
	男	女		
病例组 ($n=30$)	16	14	59.9±9.6	20.64±1.15
对照组 ($n=30$)	15	15	58.8±9.5	21.06±1.18
χ^2/t 值	0.07	0.42	—	1.39
P 值	0.80	0.68	—	0.17

2.1 MRI 参数 病例组 S_{T1WI} 、FF 及 S_{Fat} 均低于对照组, S_{T2WI} 、 S_{Water} 均高于对照组 (P 均 < 0.01)。见表 2 及图 1、2。

2.2 诊断效能 S_{T1WI} 、 S_{T2WI} 、FF、 S_{Fat} 及 S_{Water} 诊断 MMBD 曲线下面积 (area under the curve, AUC) 分别为 0.93、0.84、0.98、0.95 及 0.83;FF 诊断效能优于 S_{T2WI} 及 S_{Water} ($Z=2.39$ 、 2.61 , $P=0.02$ 、 0.01),其余参数间诊断效能差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05),见表 3 及图 3。

表 2 MMBD 患者与健康对照者间 MRI 参数比较

组别	S_{T1WI}	S_{T2WI}	FF (%)	S_{Fat}	S_{Water}
病例组 ($n=30$)	787.00 (704.00, 934.50)	167.00 (125.00, 211.00)	24.00 (15.25, 33.00)	99.50 (60.00, 189.50)	335.50 (273.49, 415.81)
对照组 ($n=30$)	1 257.00 (1 042.50, 1 535.75)	101.00 (83.50, 114.75)	55.50 (50.75, 64.00)	281.00 (245.00, 345.00)	223.59 (168.21, 250.22)
U 值	-834.50	143.00	-882.50	-851.00	157.00
P 值	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01

3 讨论

多发性骨髓瘤 (multiple myeloma, MM)是以骨髓微环境中浆细胞恶性增殖为特征的 B 细胞恶性肿瘤,伴有骨基质和骨小梁大量破坏,可导致溶骨性骨质破坏即 MMBD,主要症状为骨痛、病理性骨折甚至截瘫等,亦可致神经压迫综合征,严重影响患者生活质量。在 MMBD 发生、发展过程中可见肿瘤细胞增殖伴发脂肪细胞吞噬,引起脊柱等骨髓瘤发病部位水脂比例发生改变。既往研究^[6-8]表明,IDEAL-IQ 可实现组织内水脂分离,精确评估组织内脂肪含量。本研究选择 MMBD 患者的腰椎病灶,初步探索 IDEAL-IQ 诊断 MMBD 的可行性。结果显示,MMBD 患者腰椎 FF 及 S_{Fat} 均低于、而 S_{Water} 高于正常对照者,可能因为 MMBD 的肿瘤细胞分化程度不一,且细胞体积较大,细胞间质疏松,故肿瘤组织的水分含量高于正常组织^[9-10];且在 MM 骨髓浸润过程中,病变骨髓内正常的脂肪组织被肿瘤组织侵蚀而减少,故病变区脂肪含量降低。

魏铃等^[11]分析 mDxion Quant 脂肪定量技术对 MMBD 的诊断价值,结果显示 FF 值诊断 MMBD 的 AUC、敏感度及特异度分别为 0.969、96.64% 及 96.35%。BERARDO 等^[12]研究发现,以 MR 脂肪抑制 Dixon 序列的 FF 评估 MM 患者骨髓变化的效能优于表观弥散系数。本研究 ROC 曲线显示,IDEAL-IQ 的定量指标 FF 诊断 MMBD 的 AUC、敏感度、特异度及约登指数分别为 0.98、90.00%、96.67% 及 0.87,说明该技术可有效诊断 MMBD,且诊断效能优于 S_{T2WI} 及 S_{Water} 。常规 MR 检查所获得的图像为权重图像,其信号强度受 TR、TE 及磁场均匀性等因素影响,且信号成分混杂,不能准确

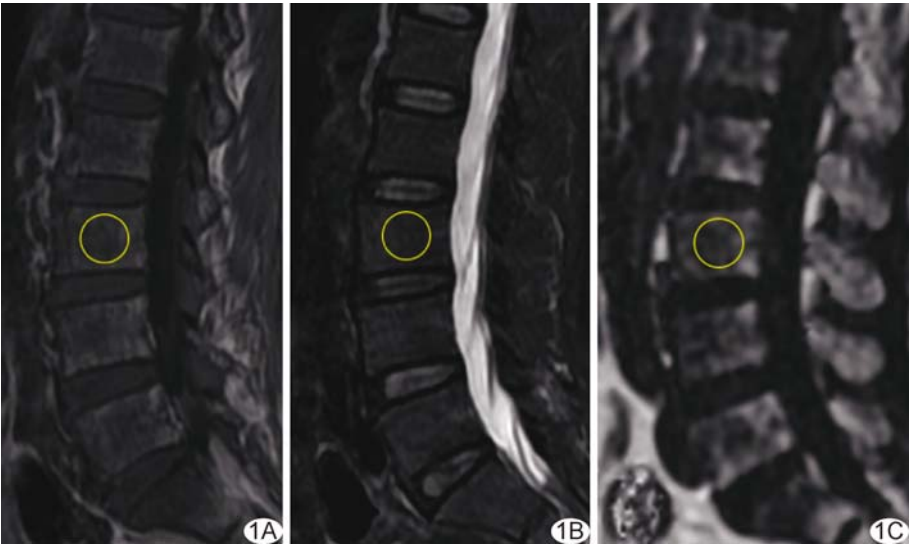


图 1 MMBD 患者,女,54 岁 A. 腰椎矢状位 T1WI, S_{T1WI} 为 756; B. 腰椎矢状位 T2WI, S_{T2WI} 为 203; C. 腰椎矢状位 IDEAL-IQ FF 图,FF 为 14% (黄圈为 ROD)



图 2 健康对照者,女,53 岁 A. 腰椎矢状位 T1WI, S_{T1WI} 为 1 254; B. 腰椎矢状位 T2WI, S_{T2WI} 为 106; C. 腰椎矢状位 IDEAL-IQ FF 图,FF 为 54% (黄圈为 ROI)

表 3 MRI 参数对 MMBD 的诊断效能

参数	截断值	约登指数	AUC(95%CD)	敏感度(%)	特异度(%)	P 值
S_{T1WI}	990	0.70	0.93(0.83,0.98)	83.33	86.67	<0.01
S_{T2WI}	131	0.67	0.84(0.72,0.92)	73.33	93.33	<0.01
FF	40%	0.87	0.98(0.91,1.00)	90.00	96.67	<0.01
S_{Fat}	212	0.77	0.95(0.86,0.99)	86.67	90.00	<0.01
S_{Water}	264	0.63	0.83(0.71,0.91)	80.00	83.33	<0.01

反映组织特点。IDEAL-IQ 技术采用最优化小翻转角激发、非对称回波采集等技术,并通过多峰脂肪模型精确模拟甘油三酯的多共振峰,消除磁场不均匀性等影响,增加组织脂肪检出率,同时去除组织中 T1 效应及 T2* 效应的干扰,使水脂分离更加精确,实现了从传统基于信号获得 FF 到基于质子密度获得 FF 的飞跃^[13-15]。

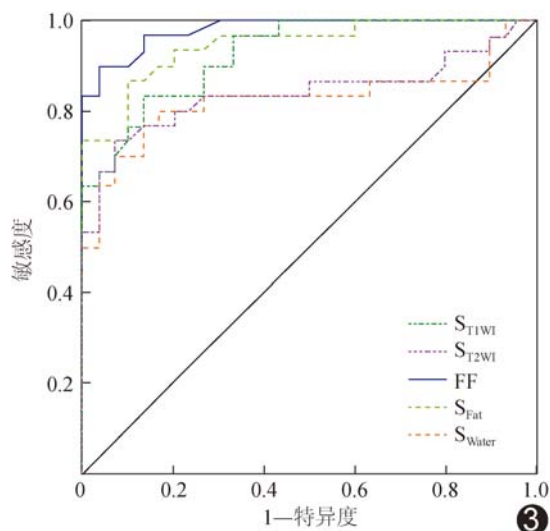


图3 MRI参数诊断MMBD的ROC曲线

此外,在MMBD发生、发展过程中,水分与脂肪的变化趋势相反,无论二者变化量如何,均可导致FF降低,此点亦为FF诊断MMBD具有较高敏感度及特异度的重要原因。

综上所述,IDEAL-IQ可有效诊断MMBD。但本研究存在一定局限性:①不同年龄段椎体脂肪含量不同,本研究未对年龄进行分层分析,未来将进一步积累病例,分层讨论;②仅观察MM患者的腰椎病变,相对局限,未来可增加骨盆等部位病变进一步观察。

[参考文献]

- [1] 中国医师协会血液科医师分会,中华医学会血液学分会.中国多发性骨髓瘤诊治指南(2022年修订)[J].中华内科杂志,2022,61(5):480-487.
- [2] TERPOS E, ZAMAGNI E, LENTZSCH S, et al. Treatment of multiple myeloma-related bone disease: Recommendations from the Bone Working Group of the International Myeloma Working Group[J]. Lancet Oncol, 2021,22(3):e119-e130.
- [3] 中国抗癌协会骨肿瘤和骨转移瘤专业委员会.多发性骨髓瘤骨病外科治疗专家共识(2022版)[J].中国肿瘤临床,2022,49(13):649-659.
- [4] 杜婧,郑艺明,肖江喜,等.MR IDEAL-IQ脂肪定量技术评价进行性假肥大性肌营养不良患儿骨骼肌脂肪浸润程度[J].中国医学影像技术,2022,38(2):276-279.
- [5] KOUTOULIDIS V, TERPOS E, PAPANIKOLAOU N, et al. Comparison of MRI features of fat fraction and ADC for early treatment response assessment in participants with multiple myeloma[J]. Radiol, 2022,304(1):137-144.
- [6] 田燕,马密密,杨浩然,等.高分辨率磁共振成像IDEAL-IQ技术对再生障碍性贫血诊断价值研究[J].中国医学计算机成像杂志,2021,27(2):151-155.
- [7] KIM H J, CHO H J, KIM B, et al. Accuracy and precision of proton density fat fraction measurement across field strengths and scan intervals: A phantom and human study[J]. J Magn Reson Imaging, 2019,50(1):305-314.
- [8] 朱红丽,黄益龙,严俊,等.IDEAL-IQ技术定量评估中老年志愿者大腿肌肉脂肪含量及其与肌力相关性的初步研究[J].中华放射学杂志,2022,56(10):1129-1134.
- [9] 齐超,钟玉虹,王小粉,等.Morphog 骨髓细胞形态分析系统对正常、感染及多发性骨髓瘤骨髓涂片辅助诊断的效率评价[J].临床检验杂志,2022,40(7):551-553.
- [10] LARBI A, OMOUMI P, PASOGLOU V, et al. Whole-body MRI to assess bone involvement in prostate cancer and multiple myeloma: Comparison of the diagnostic accuracies of the T1, short tau inversion recovery (STIR), and high b-values diffusion-weighted imaging (DWI) sequences[J]. Eur Radiol, 2019,29(8):4503-4513.
- [11] 魏铃,王丰哲,殷国良,等.PDFF和OP/IP对胸、腰椎多发性骨髓瘤骨病的诊断价值[J].肿瘤防治研究,2020,47(2):115-118.
- [12] BERARDO S, SUKHOVEI L, ANDORNO S, et al. Quantitative bone marrow magnetic resonance imaging through apparent diffusion coefficient and fat fraction in multiple myeloma patients[J]. Radiol Med, 2021,126(3):445-452.
- [13] MA Q, CHENG X, HOU X, et al. Bone marrow fat measured by a chemical shift-encoded sequence (IDEAL-IQ) in patients with and without metabolic syndrome [J]. J Magn Reson Imaging, 2021,54(1):146-153.
- [14] 闫丽红,陆林,张小安,等.IDEAL-IQ技术在进行性肌营养不良诊断中的应用[J].实用放射学杂志,2022,38(1):118-121.
- [15] YANG H, CUI X, ZHENG X, et al. Preliminary quantitative analysis of vertebral microenvironment changes in type 2 diabetes mellitus using FOCUS IVIM-DWI and IDEAL-IQ sequences[J]. Magn Reson Imaging, 2021,84:84-91.