

论 著 · 骨肌

磁共振IDEAL-IQ定量预测T2DM合并骨质疏松症患者骨折风险的价值*

马娟 马依迪丽·尼加提 马海婷
任镇伟 仇馨悦 栾丽
张梅 袁雁 郭辉*新疆医科大学附属中医医院医学影像科
(新疆 乌鲁木齐 830000)

【摘要】目的 分析磁共振(MRI)非对称回波的最小二程估算法迭代水脂分离(IDEAL-IQ)预测T2DM合并骨质疏松症患者骨折风险的价值。方法 选取2022年7月至2024年8月新疆医科大学附属中医医院影像中心收治的T2DM合并骨质疏松症患者148例为研究对象,依据是否发生椎体压缩性骨折分为骨折组(n=85)、无骨折组(n=63),均接受脊柱MRI IDEAL-IQ检查,测定L₁₋₅各椎体脂肪分数值(FF)及L₁₋₅椎体平均FF,比较骨折组、无骨折组骨代谢生化指标[25-(OH)D水平、β-胶原特殊序列(β-CTX)、I型胶原氨基端延长肽(PINP)]及骨密度(BMD)与IDEAL-IQ定量参数,分析FF值与各指标相关性,绘制受试者工作特征曲线(ROC)分析FF值对T2DM合并骨质疏松症患者骨折风险的预测价值。结果 骨折组血清25-(OH)D、BMD低于无骨折组,而β-CTX、PINP高于无骨折组(P<0.05);骨折组L₁FF值、L₂FF值及L₁₋₅椎体平均FF值均高于无骨折组(P<0.05);Pearson相关分析发现,T2DM合并骨质疏松症患者L₁FF值、L₂FF值及L₁₋₅椎体平均FF值均与25-(OH)D、BMD呈负相关,而与β-CTX、PINP呈正相关(P<0.05);ROC显示,L₁FF值、L₂FF值及L₁₋₅椎体平均FF值预测T2DM合并骨质疏松症患者骨折风险的曲线下面积分别为0.791、0.806、0.876。结论 MRI IDEAL-IQ定量预测T2DM合并骨质疏松症患者骨折风险的价值较高,值得在临床推广实践。

【关键词】磁共振; IDEAL-IQ; T2DM;
骨质疏松症; 骨折风险

【中图分类号】R44.52

【文献标识码】A

【基金项目】2024年度新疆人工智能影像辅助
诊断重点实验室立项开放课题
(XJRGZN2024018)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.10.051

Value of Magnetic Resonance Imaging IDEAL-IQ in Predicting Fracture Risk in Patients with T2DM and Osteoporosis*

MA Juan, Mayidili Nigati, MA Hai-ting, REN Zhen-wei, QIU Xin-yue, LUAN Li, ZHANG Mei, YUAN Yan, GUO Hui*

Department of Medical Imaging, the Affiliated Hospital of Traditional Chinese Medicine, Xinjiang Medical University, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective To analyze the value of iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least squares estimation (IDEAL-IQ) of magnetic resonance imaging (MRI) in predicting fracture risk in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) and osteoporosis. **Methods** A total of 148 patients with T2DM and osteoporosis who visited the Imaging Center of Hospital of Traditional Chinese Medicine Affiliated to Xinjiang Medical University from July 2022 to August 2024 were selected as the research subjects. They assigned to the fracture group (n=85) and the non-fracture group (n=63) according to whether they had vertebral compression fracture. Both groups underwent spine MRI IDEAL-IQ examination. The fat fraction (FF) of each vertebral body from L₁ to L₅ and average FF of L₁₋₅ were measured. The biochemical indicators of bone metabolism [25-hydroxyvitamin D (25(OH) D), β-collagen specific sequence (β-CTX) and aminoterminal propeptide of type I procollagen (PINP)], bone mineral density (BMD) and quantitative IDEAL-IQ parameters were compared between the fracture group and the non-fracture group. The correlation between FF value and each indicator was analyzed. The receiver operating characteristic (ROC) curve was used to analyze the predictive value of FF value for fracture risk in patients with T2DM and osteoporosis. **Results** Serum 25-(OH)D level and BMD in the fracture group were lower than those in the non-fracture group. The levels of β-CTX and PINP were higher than those in the non-fracture group (P<0.05). FF values of L₁ and L₂, and average FF value of L₁₋₅ in the fracture group were higher than those in the non-fracture group (P<0.05). Pearson correlation analysis found that FF values of L₁ and L₂, and average FF value of L₁₋₅ were negatively correlated with 25-(OH)D and BMD, and positively correlated with β-CTX and PINP in patients with T2DM and osteoporosis (P<0.05). ROC showed that the areas under the curve of FF values of L₁ and L₂, and average FF value of L₁₋₅ for predicting fracture risk in patients with T2DM and osteoporosis were 0.791, 0.806, and 0.876, respectively. **Conclusion** MRI IDEAL-IQ demonstrates relatively high value in predicting fracture risk in patients with T2DM and osteoporosis. It is worthy of promotion and application in clinical practice.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; IDEAL-IQ; T2DM; Osteoporosis; Fracture Risk

骨质疏松症主要表现为骨密度(BMI)、骨质量降低,骨的微结构遭到破坏,据统计预计2035年、2050年我国居民的骨质疏松性骨折发生例数分别达483万例及599万例^[1]。近年来2型糖尿病(T2DM)发病率呈升高趋势,而此类患者相比于正常人群的骨质疏松性增加,因此发生骨质疏松性骨折风险更高,且其有较高致残率、致死率,严重增加治疗与康复难度^[2],采用双能X线吸收法测定BMD难以充分评估T2DM合并骨质疏松症患者的骨折风险,其忽略了骨微结构及骨材料力学特性改变所带来的影响。磁共振成像(MRI)为一种无创、无辐射的影像技术,而非对称回波的最小二程估算法迭代水脂分离(IDEAL-IQ)属于MRI脂肪定量技术,其测定的椎体骨髓脂肪分数(FF)可反映骨髓中脂肪含量,目前已有研究^[3]将其用于评估T2DM患者大腿肌肉脂肪浸润情况,发现其脂肪沉积较明显,肌肉含量较少,然而关于IDEAL-IQ对T2DM合并骨质疏松症患者的骨折风险研究甚少。本文主要分析IDEAL-IQ预测T2DM合并骨质疏松症患者骨折风险的价值,结果如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2022年7月至2024年8月新疆医科大学附属中医医院影像中心收治的T2DM合并骨质疏松症患者148例为研究对象。

纳入标准:(1)均符合老年T2DM^[4]及骨质疏松症诊断标准^[5],年龄≥60岁;(2)均未采用胰岛素治疗;(3)患者及家属对研究内容充分知情,签订知情同意书。排除标准:(1)有糖尿病急性并发症或恶性肿瘤病变、创伤性骨折者;(2)在近3个月内有服用钙剂、激素类药物;(3)合并甲亢、严重肝肾功能异常者。其中男70例,女78例,年龄60~80岁,平均(70.59±7.43)岁;体质指数(22.67±2.42)kg/m²;空腹血糖(8.18±0.86)mmol/L;收缩压(127.71±14.01)mmHg,舒张压(74.32±7.41)mmHg;吸烟史105例,饮酒史71例。经X线、CT、MRI等证实为骨质疏松性椎体压缩性骨折者^[6]纳入骨折组(n=85),无骨折者纳入无骨折组(n=63)。

1.2 方法

1.2.1 MRI IDEAL-IQ检查方法 仪器选自美国GE公司的SIGNA Creator1.5T磁共振,首先进行腰椎常规扫描,包括T1WI矢状位及T2WI矢状位与轴位序列,扫描参数:T1WI:

【第一作者】马娟,女,主治医师,主要研究方向:中枢神经系统影像诊断。E-mail: Mj881010@163.com

【通讯作者】郭辉,男,主任医师,主要研究方向:脊柱感染影像诊断。E-mail: guohui9804@126.com

TR=650 ms, TE=9.4 ms, T2WI: TR=2800 ms, TE=98 ms。后进行腰椎椎体矢状位IDEAL-IQ序列扫描: 先以L3正中层面为扫描中心进行定位, 扫描参数: 层厚=3 mm, 层间距=1 mm, TR=6500 ms, TE=60 ms, 扫描视野35 cm×35 cm, 矩阵160×160, 带宽=120 kHz, 翻转角=3°, 层数=24, 激励次数=1, 扫描用时15 s, 在扫描终止时系统自动生成FF图。将MRI扫描所获得的图像传送至GE ADW 4.6后处理工作站, 打开FF图, 对L₁₋₅椎体骨髓脂肪含量予以定量分析。在FF图上选取L₁₋₅椎体最正中矢状位T2脂相图像的正中层面所对应的横断位层面, 并手动绘制20 mm×20 mm大小的感兴趣区(ROI)测定L₁₋₅椎体的FF值, 测量区域尽量沿着椎体边缘, 避开松质骨、终板与椎间盘, 也不接触椎静脉入口与皮质骨等。均测3次取均值作为最终结果。

1.2.2 骨代谢生化指标测定 在禁食8 h后, 抽取清晨空腹静脉血3 mL, 5000 r/min离心5 min分离血清, 经全自动电化学发光免疫分析仪对25-(OH)D、β-胶原特殊序列(β-CTX)、I型胶原氨基端延长肽(PINP)水平进行测定。

1.2.3 BMD的测定 在完成IDEAL-IQ检查后2周, 采用美国Norland XR-46 Excell plus双能X线骨密度测定仪测定2组正位腰椎L₁₋₅及左股骨颈处的BMD值, 均在校准仪器后进行测量, 设定电流为3.0 mA, 电压为110 kV, 扫描宽度=11.4 cm, 长度=20.5 cm, 取平均值进行分析。

1.3 观察指标 (1)比较骨折组、无骨折组L₁₋₅各椎体FF及L₁₋₅椎体平均FF; (2)比较骨折组、无骨折组骨代谢生化指标(25-(OH)D水平、β-CTX、PINP)及BMD; (3)分析FF值与各指标的相关性; (4)绘制受试者工作特征曲线(ROC)分析FF值对于T2DM合并骨质

疏松症患者骨折风险的预测价值。

1.4 统计处理 经SPSS 23.0软件予以统计分析, 性别等各类计数资料经例数和率(%)予以表示, 开展 χ^2 检验, 计量资料经检验显示满足正态分布与方差齐性要求, 以($\bar{x} \pm s$)表示, 进行两独立样本间的t检验分析。Pearson法分析相关性。绘制ROC曲线分析诊断价值。均采用双侧检验, $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 骨折组与非骨折组一般资料比较 两组一般资料差异无显著性($P>0.05$), 见表1。

2.2 骨折组与非骨折组骨代谢生化指标及BMD比较 骨折组血清25-(OH)D、BMD低于无骨折组, 而β-CTX、PINP高于无骨折组($P<0.05$), 见表2。

2.3 骨折组与非骨折组IDEAL-IQ定量参数比较 骨折组L1FF值、L2FF值及L₁₋₅椎体平均FF值均高于无骨折组($P<0.05$), 两组L3FF值、L4FF值、L5FF值差异无统计学意义($P>0.05$), 见表3。

2.4 相关分析结果 Pearson相关分析发现, T2DM合并骨质疏松症患者L1FF值、L2FF值及L₁₋₅椎体平均FF值均与25-(OH)D、BMD呈负相关, 而与β-CTX、PINP呈正相关($P<0.05$), 见表4。

2.5 预测骨折风险的价值分析 ROC显示, L1FF值、L2FF值及L₁₋₅椎体平均FF值预测T2DM合并骨质疏松症患者骨折风险的曲线下面积分别为0.791(95%CI: 0.731~0.859)、0.806(95%CI: 0.749~0.864)、0.876(95%CI: 0.827~0.925), 见图1。

2.6 典型病例 见图2~3。

表1 骨折组与非骨折组一般资料比较[n(%)]

组别	性别		年龄(岁)	体质量指数(kg/m ²)	空腹血糖(mmol/L)	收缩压(mmHg)	舒张压(mmHg)	吸烟史	饮酒史
	男	女							
骨折组(n=85)	44(51.76)	41(48.24)	69.97±6.72	22.96±2.37	8.09±0.87	127.44±14.69	74.66±7.38	63(74.12)	37(43.53)
非骨折组(n=63)	26(41.27)	37(58.73)	70.83±7.18	22.28±2.45	8.31±0.84	128.07±13.15	73.87±7.49	42(66.67)	34(53.97)
χ^2/t 值	1.599		0.745	1.701	1.543	0.270	0.640	0.975	1.580
P值	0.206		0.456	0.091	0.125	0.788	0.523	0.324	0.209

表2 骨折组与非骨折组骨代谢生化指标及BMD比较

影像学特征	25-(OH)D(ng/mL)	β-CTX(ng/mL)	PINP(ng/mL)	BMD(g/cm ²)
骨折组(n=85)	19.67±2.18	630.37±64.59	55.12±5.67	0.71±0.08
非骨折组(n=63)	21.48±2.56	598.75±60.44	47.39±4.86	0.88±0.09
t值	4.635	3.026	8.706	12.117
P值	<0.001	0.003	<0.001	<0.001

表3 骨折组与非骨折组IDEAL-IQ定量参数比较(%)

组别	L1FF值	L2FF值	L3FF值	L4FF值	L5FF值	L ₁₋₅ 椎体平均FF值
骨折组(n=85)	62.18±6.37	59.65±6.03	64.15±6.68	65.44±6.62	66.27±6.72	63.54±6.89
非骨折组(n=63)	56.11±6.13	53.22±5.48	63.89±6.77	63.78±6.59	65.36±6.83	60.47±8.00
t值	5.824	6.665	0.233	1.511	0.809	2.502
P值	<0.001	<0.001	0.816	0.133	0.420	0.014

表4 相关分析结果(r值)

指标	L1FF值	L2FF值	L ₁₋₅ 椎体平均FF值
25-(OH)D	-0.311*	-0.326*	-0.639 [#]
β-CTX	0.467 [#]	0.389*	0.711 [#]
PINP	0.376*	0.521 [#]	0.369*
BMD	-0.526 [#]	-0.455 [#]	-0.567 [#]

注: * $P<0.05$; [#] $P<0.01$ 。



图1 预测骨折风险的ROC曲线。**图2** 患者女, 67岁, T2DM合并骨质疏松症, 无椎体压缩性骨折。2A: IDEAL-IQ脂肪分数图, 紫色色方框示意L₁₋₅椎体测量的ROI; 2B: T1WI图; 2C: T2WI图; 2D: T2FSE图。**图3** 患者女, 62岁, T2DM合并骨质疏松症, 椎体压缩性骨折。3A: IDEAL-IQ脂肪分数图, 紫色色方框示意L₁₋₅椎体测量的ROI; 3B: T2WI图; 3C: T1WI图; 3D: T2FSE图。

3 讨论

T2DM合并骨质疏松症患者长期处于促炎状态, 骨重建发生失衡, 导致BMD及骨强度降低, 因而有较高的椎体压缩性骨折风险^[7]。IDEAL-IQ可准确量化FF及铁质沉积, 尤其是FF值为评估骨质量的新兴指标, 近年来IDEAL-IQ因无创性、精准性及易操作性被广泛应用于骨相关疾病的诊疗中^[8]。如有研究^[9]将IDEAL-IQ序列以用于定量分析腹腔内脏脂肪含量与T2DM的关系, 但关于IDEAL-IQ对T2DM合并骨质疏松症患者骨折风险的预测价值研究较少。

王振等^[10]发现, 骨质疏松症患者中骨折组MRI IDEAL-IQ测得的L2椎体FF、L₁₋₅椎体平均FF值高于无骨折组。孙文路等^[11]发现, 骨折组经IDEAL-IQ测得的L₁₋₄椎体FF及平均FF值均高于非骨折组。本研究也显示, 骨折组L1FF值、L2FF值及L₁₋₅椎体平均FF值均高于无骨折组。原因可能是骨由矿化成分、非矿化部分组成, 其中骨髓在骨骼全身代谢发挥重要作用, 而FF随着骨矿化减少而增多^[12]。IDEAL-IQ采用6个回波结合FSE序列予以水脂分离, 可获取脂肪比像与反相位像等, IDEAL-IQ信噪比较高, T1效应减少, 一次扫描即可完成全部数据采集^[13], 因而借助IDEAL-IQ获得的定量参数可对T2DM骨质疏松症患者骨矿化情况进行分析, 从而判断其骨折发生风险。同时本次Pearson相关分析发现, T2DM合并骨质疏松症患者L1FF值、L2FF值及L₁₋₅椎体平均FF值均与25-(OH)D、BMD呈负相关, 而与β-CTX、PINP呈正相关, 与既往刘鹏等^[14]报道的FF值与BMD呈负相关($r=-0.396$), 与β-CTX呈正相关($r=0.238$)的结果相近, 说明IDEAL-IQ定量参数与T2DM合并骨质疏松症患者骨代谢生化指标及骨量有密切关系。因为在骨质疏松症期间, 骨髓内间充质干细胞生成骨细胞及脂肪细胞的分化程度利于脂肪生成及成骨细胞的生成, 引起骨髓脂肪量升高, 骨形成减少, 因而FF值与T2DM骨质疏松症患者骨代谢有明显关系, 经脊柱骨髓脂肪量测定获得的参数可作为预测骨质疏松相关性骨折的重要指标^[15]。

在诊断价值上, 关节病变脂肪沉积于T1WI、T2WI上表现出高信号, 脂肪抑制序列则呈低信号, 仅能用于评估范围大小, 而IDEAL-IQ则与病理结果具备高度相关性, 结果稳定而可重复, 可动态观察脂肪沉积灶内的脂肪含量变化^[16-17]。既往王振等^[10]报道, L2椎体FF预测骨质疏松症患者骨折的曲线下面积为0.714(95%CI 0.606~0.822)。刘鹏^[18]发现, FF值为骨质疏松性椎体压缩骨折的危险因素(OR=1.074), 可较好预测骨质疏松性椎体压缩骨折风险。本次ROC显示, L1FF值、L2FF值及L₁₋₅椎体平均FF值预测T2DM合并骨质疏松症患者骨折风险的曲线下面积分别为0.791(95%CI 0.731~0.859)、0.806(95%CI 0.749~0.864)、0.876(95%CI 0.827~0.925), 因此IDEAL-IQ定量参数对T2DM合并骨质疏松症患者骨折风险有较高预测价值。本研究也存在有局限性, 如样本量低, 在图像分析时也仅依据常规MRI图像评估椎

体骨折, 未采用经典的Genant半定量法, 这对于判断椎体骨折可能有一定影响; 此外骨质疏松骨折在女性中较常见, 本次也以女性居多, 研究结论尚不能代表整体人群情况。

综上所述, IDEAL-IQ定量可较好预测T2DM合并骨质疏松症患者骨折风险, 且其获得的FF定量指标与T2DM合并骨质疏松症患者骨代谢生化指标及BMD有明显关系。

参考文献

- [1] 杨震宇. 金天格胶囊治疗2型糖尿病合并骨质疏松症的效果及对患者骨密度、骨代谢的影响[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29(12): 83-84, 87.
- [2] 于露, 张宁宁, 姜宏卫, 等. 2型糖尿病性骨质疏松症的诊断及骨折风险评估的影像学研究进展[J]. 广西医学, 2023, 45(18): 2271-2275.
- [3] 王昊雷, 雷俊, 朱红丽, 等. 磁共振3D-IDEAL-IQ技术定量评估2型糖尿病大腿肌肉脂肪浸润[J]. 放射学实践, 2023, 38(5): 604-609.
- [4] 中国老年2型糖尿病防治临床指南编写组, 中国老年医学学会老年内分泌代谢分会, 中国老年保健医学研究会老年内分泌与代谢分会, 等. 中国老年2型糖尿病防治临床指南(2022年版)[J]. 中华内科杂志, 2022, 61(1): 12-50.
- [5] 《中国老年骨质疏松症诊疗指南2023》工作组, 中国老年学和老年医学学会骨质疏松分会, 中国医疗保健国际交流促进会骨质疏松病分会, 等. 中国老年骨质疏松症诊疗指南(2023)[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2023, 16(10): 865-885.
- [6] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 骨质疏松性椎体压缩性骨折诊疗与管理专家共识[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2018, 11(5): 425-437.
- [7] 刘晓宇, 孙平, 张晓微, 等. 利拉鲁肽联合胰岛素对2型糖尿病合并骨质疏松患者的疗效[J]. 西北药学杂志, 2024, 39(3): 168-172.
- [8] Goto K, Watanabe D, Kawae N, et al. Relationship between femoral proximal bone quality assessment by MRI IDEAL-IQ sequence and body mass index in elderly men[J]. Tomography, 2024, 10(5): 816-825.
- [9] 王金凤, 罗琳, 陈强, 等. 磁共振IDEAL-IQ序列定量分析腹腔内脏脂肪含量与2型糖尿病的关系[J]. 实用医学杂志, 2024, 40(16): 2256-2262.
- [10] 王振, 郭炼锦, 梁嘉荣, 等. 骨质疏松症患者MRI脂肪定量参数联合25-羟基维生素D预测骨折风险的价值[J]. 实用医学杂志, 2024, 40(22): 3238-3243.
- [11] 孙文路, 刘姝姝, 郭兴满, 等. 核磁共振脂肪量化预测骨质疏松性椎体骨折的意义[J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29(10): 870-874.
- [12] Liu J, Wu Y, Chong Tian C, et al. Quantitative assessment of renal steatosis in patients with type 2 diabetes mellitus using the iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least squares estimation quantification sequence imaging: repeatability and clinical implications[J]. Quant Imaging Med Surg, 2024, 14(10): 7341-7352.
- [13] 康静. 水脂分离技术IDEAL-IQ在肌骨疾病中的应用进展[J]. 影像诊断与介入放射学, 2022, 31(1): 42-47.
- [14] 刘鹏, 干曼峰, 王华伟, 等. 磁共振IDEAL-IQ评价骨质疏松症的价值[J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31(23): 2118-2123.
- [15] 黄小燕, 宋佳雯, 叶信健, 等. MRI IDEAL-IQ在2型糖尿病患者腹部脂肪量化中的应用价值[J]. 肝胆胰外科杂志, 2024, 36(11): 685-690.
- [16] 王娟, 周守国. DWI、DCE-MRI及脂肪定量技术在强直性脊柱炎骶髂关节病变活动性评价中的应用价值[J]. 放射学实践, 2023, 38(5): 610-614.
- [17] 成东亮, 冯红梅, 戈戈, 等. 磁共振脂肪定量技术IDEAL-IQ评价腰椎骨质疏松严重程度的价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(5): 157-159.
- [18] 刘鹏. 磁共振IDEAL-IQ技术对骨质疏松症及骨质疏松性椎体压缩骨折评价的研究[D]. 苏州大学, 2023.

(收稿日期: 2025-02-24)

(校对编辑: 翁佳鸿、韩敏求)