论 著

2型糖尿病合并骨质疏松危险因素及MRI IDEAL-IQ扫描诊断价值分析*

马海婷[1] 郭 辉[1] 马依迪丽·尼加提[1]
仇馨悦[1] 任镇伟[1] 栾 丽[1]
张 梅[1] 袁 雁[1] 马 娟[2,*]
1.新疆维吾尔自治区中医医院医学影像科 (新疆 乌鲁木齐 830000)
2.新疆人工智能影像辅助诊断重点实验室 (新疆 喀什 844000)

【摘要】**目的** 分析2型糖尿病合并骨质疏松危险因素及MRI IDEAL-IQ扫描的诊断价值。**方法** 选取2022年5月至2024年5月我院2型糖尿病合(T2DM)并骨质疏松110例，经双能X射线骨密度仪(DXA)检测骨密度值(T值)，并患者分为3组：T值≤-2.5为骨质疏松，纳入A组；T值-2.4~-1.1为骨量减少，纳入B组；T值≥-1.0为骨质正常，纳入C组。所有患者均接受MRI IDEAL-IQ 椎体骨髓脂肪分数值(FF值)检测，评估FF值诊断T2DM患者骨质疏松的效能，分析T2DM合并骨质疏松危险因素。**结果** 110例患者经DXA检测骨质疏松患者39例，骨量减少患者38例，正常患者33例。3组FF值比较差异均有统计学意义，且C组低于B组，低于A组($P<0.05$)；ROC曲线分析结果显示，FF值诊断T2DM患者骨量正常与骨量减少AUC面积0.870，最佳截断值46.99%，特异度81.82%，敏感度84.21%；FF值诊断T2DM患者骨量减少与骨质疏松的AUC面积0.642，最佳截断值56.44%，特异度68.42%，敏感度66.67%；二元Logistic回归显示：T2DM患者FF值≥56.44%是其发生骨质疏松的独立危险因素。**结论** MRI IDEAL-IQ诊断T2DM患者发生骨质疏松及骨质疏松程度具有较高的敏感度，FF值可作为T2DM患者骨质疏松临床辅助诊断方式。

【关键词】2型糖尿病；骨质疏松；MRI IDEAL-IQ；诊断价值
【中图分类号】R587.1
【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(XJRGZN2024018)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.04.055

Risk Factors of Type 2 Diabetes Mellitus Combined with Osteoporosis and Diagnostic Value of MRI IDEAL-IQ Scan*

MA Hai-ting[1], GUO Hui[1], Mayidili Nijiati[1], QIU Xin-yue[1], REN Zhen-wei[1], LUAN Li[1], ZHANG Mei[1], YUAN Yan[1], MA Juan[2,*].
1.Department of Medical Imaging, Traditional Chinese Medical Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China
2.Xinjiang Key Laboratory of Artifical Intelligence-Assisted Imaging Diagnosis, Kashgar 844000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

ABSTRACT
Objective To analyze risk factors of type 2 diabetes mellitus (T2DM) combined with osteoporosis and diagnostic value of MRI IDEAL-IQ scan. ***Methods*** A total of 110 patients with T2DM and osteoporosis in the hospital were enrolled between May 2022 and May 2024. According to bone mineral density (T value) by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), they were divided into group A (≤-2.5: osteoporosis), group B (-2.4 ~ -1.1: osteopenia) and group C (≥-1.0: normal sclerotin). All patients underwent MRI IDEAL-IQ vertebral bone marrow fat fraction (FF) detection to evaluate diagnostic efficiency of FF for osteoporosis in T2DM patients. The risk factors of T2DM combined with osteoporosis were analyzed. ***Results*** In the 110 patients, DXA showed that there were 39 cases with osteoporosis, 38 cases with osteopenia and 33 cases with normal sclerotin. There were significant differences in FF among the three groups, and which was gradually increased in group C, group B and group A ($P<0.05$). The results of ROC curves analysis showed that area under the curve (AUC), the best cut-off value, specificity and sensitivity of FF in the differential diagnosis of normal bone mass and osteopenia were 0.870, 46.99%, 81.82% and 84.21%, respectively. AUC, the best cut-off value, specificity and sensitivity of FF in the differential diagnosis of osteopenia and osteoporosis were 0.642, 56.44%, 68.42% and 66.67%, respectively. Binary Logistic regression analysis showed that FF ≥56.44% was an independent risk factor of osteoporosis in T2DM patients. ***Conclusion*** MRI IDEAL-IQ has high sensitivity in the diagnosis of osteoporosis and its severity in T2DM patients. FF can be applied as an auxiliary diagnostic index for osteoporosis in T2DM patients.
Keywords: Type 2 Diabetes Mellitus; Osteoporosis; MRI IDEAL-IQ; Diagnostic Value

骨质疏松症(osteoporosis, OP)是2型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)常见并发症之一，以是骨量减少、骨脆性增加及骨微结构破坏为主要临床特征[1]。随着我国人口老龄化加剧T2DM患者骨质疏松发病率逐渐上升，相关文献显示，我国T2DM患者骨质疏松发病率为37.80%[2]。因此，T2DM患者早期骨质疏松诊断对患者预后十分关键。目前，双能X线骨密度仪(dual-energy X-rayabsorptiometry, DXA)是骨质疏松症诊断金标准，通过测定骨密度对骨强度进行评估[3]。但骨强度同时受骨质量影响，仅依赖DXA进行骨质疏松筛查具有一定局限性。研究发现人体骨髓含有大量骨髓脂肪，而骨量的减少往往伴随不同程度的骨髓内脂肪组织增加，骨髓脂肪含量是骨髓质量变化的重要标志[4]。因此，对椎体骨髓脂肪含量的检测对辅助T2DM患者骨质疏松的诊断具有一定帮助。其中腰椎体脂肪含量(Fat Fraction, FF)在骨质疏松症诊断中具有较高灵敏度[5]。当前通过MRI作为骨骼结构常用检测工具，能够通过IDEAL-IQ水脂分离技术测量骨髓脂肪含量。且不做单独检测，有利于减轻患者经济负担。基于此，本研究以DXA测得骨密度结果为“金标准”，在回顾性分析T2DM患者骨质疏松发生影响因素的基础上，分析患者腰椎骨髓脂肪含量差异，探讨MRI IDEAL-IQ技术在T2DM患者骨质疏松症中的诊断价值，旨在此类疾病的临床治疗提供更多依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2022年5月至2024年5月我院T2DM患者110例临床资料。

纳入标准：(1)符合为T2DM诊断标准[6]；(2)均行腰椎MRI IDEAL-IQ序列扫描；(3)临床资料完整。排除标准：(1)无法接受MRI检查；(2)存在既往有腰椎手术史；(3)合并其他影响骨质疾病，如肿瘤、新鲜骨折、感染、肝肾功能障碍及其他影响骨代谢性疾病；(4)半年内使用钙剂等影响骨代谢药物；(5)合并免疫性疾病等。患者均知情同意，本研究经伦理委员会批准(审批号: 2024XE0163)。

1.2 检查方法

1.2.1 DXA 扫描 采用双能X线骨密度仪对L1~4椎体骨密度(g/m^2)进行测量。采取椎体正位，扫描参数：电流2.5~3.0 mA，电压100~140kV；宽度11.4cm，长度20.4cm。计算T值，T值=(测定值-骨峰值)/正常成人BMD标准差。

1.2.2 MRI IDEAL-IQ扫描 DXA成像后3d内，仪器选自美国GE公司的SIGNA Creator1.5T磁共振，进行常规T1WI、T2WI及IDEAL-IQ序列扫描。T1WI扫描参数：翻转角110°，TR 483ms，TE Min Full，FOV28cm×28cm，层厚4mm，激励次数2。T2W1扫描参数：

【第一作者】马海婷，女，主治医师，主要研究方向：骨关节系统影像诊断。E-mail:mht881022@163.com
【通讯作者】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

翻转角110°，TR 2500ms，TE 102ms，FOV28cm×28cm，层厚4mm，激励次数2。IDEAL-IQ扫描参数：翻转角3°，层厚4mm，层距1mm，TR6500ms，TE 60ms，带宽125kHz，矩阵160×160，FOV 35cm×35cm，扫描时间23s，NEX3。

1.2.3 图像分析及数据测量 将扫描所得图像上载至后处理工作站GE AW4.6，选取腰椎FF图上椎体(L1~4)正中矢状切面，避开骨皮质、血管瘤和椎间盘等勾画ROI，面积293~329mm^2，尽量包含整个椎体松质骨，系统自动生FF值。每个椎体由2名有资历的资影像科医师重复测量3次，取平均值。

1.3 观察指标 以DXA诊断结果为“金标准”，根据相关文献[7]，将患者分为3组：T值≤-2.5为骨质疏松，纳入A组；T值-2.4~-1.1为骨量减少，纳入B组；T值≥-1.0为骨质正常，纳入C组。

1.4 统计学方法 本研究数据均采用SPSS 26.0统计分析，符合正态分布计量资料以($\bar{x}\pm s$)表示，组间比较采用单因素方差分析及LSD-t检验，计数资料以[n(%)]表示，组间比较采用χ^2检验。应用ROC曲线评价FF值诊断的敏感度和特异度。P＜0.05表示差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 临床确诊情况 110例患者经DXA检测骨质疏松患者39例，骨量减少患者38例，正常患者33例，3组患者一般资料年龄比较差异有统计学意义(P>0.05)，见表1。

2.2 3组FF值比较情况 3组FF值比较差异均有统计学意义，且C组低于B组，低于A组(P<0.05)，见表2。

2.3 FF值诊断T2DM患者骨质疏松严重程度效能 分析显示，FF值诊断T2DM患者骨量正常与骨量减少AUC面积0.870，最佳截断值46.99%，特异度81.82%，敏感度84.21%；FF值诊断T2DM患者骨量减少与骨质疏松的AUC面积0.642，最佳截断值56.44%，特异度68.42%，敏感度66.67%，见表3。

2.4 T2DM患者发生骨质疏松的Logistic回归分析 以是否发生骨质疏松为因变量，骨质疏松=0，未发生骨质疏松=1，以FF值为自变量，≥56.44%=0，＜56.44%=1进行赋值。并进行二元Logistic回归分析，结果显示：T2DM患者FF值≥56.44%是其发生骨质疏松的独立危险因素，见表4。

2.5 典型案例 见图3~6。

表1 3组患者临床资料比较[n(%)]

分组	年龄(岁)	性别(n)		
		男/女	BMI(kg/m^2)	糖尿病病程(年)
C组(n=33)	50.68±7.46^{ab}	18/15	25.76±2.32	10.21±2.02
B组(n=38)	54.32±7.32^{b}	20/18	25.21±2.12	10.54±2.13
A组(n=39)	58.93±6.98	18/21	25.83±2.25	11.01±2.54
χ^2/F值	11.755	0.573	0.875	1.152
P值	<0.001	0.751	0.420	0.320

注：与B组比较，$^a P$<0.05，与A组比较，$^b P$<0.05。

表2 3组FF值比较

分组	FF值(%)
C组(n=33)	40.39±7.76
B组(n=38)	53.71±6.43
A组(n=39)	58.47±9.61
F值	47.251
P值	＜0.001

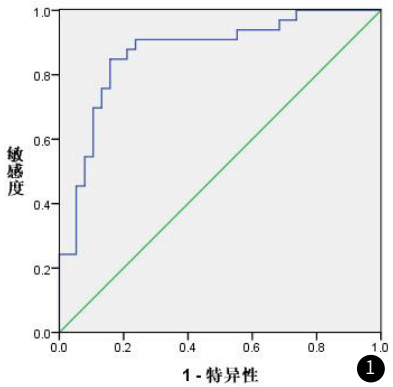
表3 FF值诊断T2DM患者骨质疏松严重程度效能

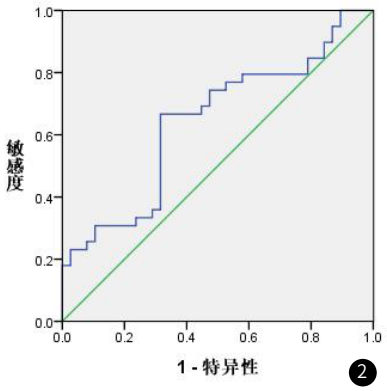
指标	最佳截断值	AUC	特异度	敏感度
C与B组FF值	46.99%	0.870	81.82%	84.21%
B与A组FF值	56.44%	0.642	68.42%	66.67%

*与联合参数比较，P<0.05。

表4 T2DM患者发生骨质疏松影响因素Logistic回归分析

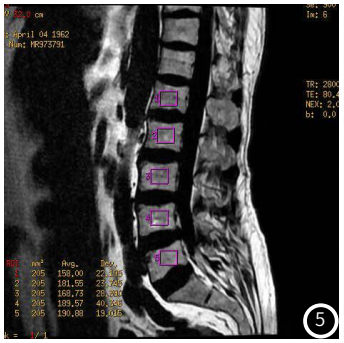
变量	β	S.E	Wald/χ^2	OR	95%CI	P
FF值≥56.44%	0.782	0.354	4.880	2.186	1.092~4.375	0.028











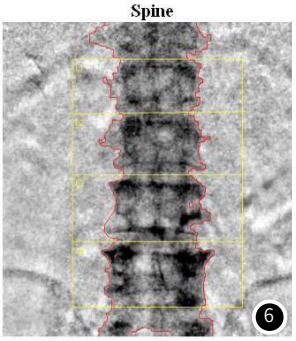


图1 FF值诊断T2DM患者骨量正常与骨量减少的ROC曲线。**图2** FF值诊断T2DM患者骨量减少与骨质疏松的ROC曲线。患者男，62岁，确诊2型糖尿病合并骨质疏松。**图3~4**分别为腰椎正中矢状位图像、FSE图、T2WI图、T1WI图、FF图、在FF图上勾画L1-L5椎体的ROI。**图5** 患者划定ROI区域图。**图6** 同一患者L1-L4椎体DXA图像。

3 讨 论

糖尿病是我国目前发病率较高的一种慢性疾病，相关数据显示，2021年我国糖尿病患者人口近1.4亿，占据12.80%[8]，以T2DM为主。骨质疏松症是糖尿病患者严重并发症，当前相关研究报道显示，T2DM患者脆性骨折风险大大提高。本研究纳入患者110例，骨质疏松患者39例(35.45%)略低于既往文献研究，推测与纳入患者年龄、女性患者纳入例数有关。根据WHO诊断指南建议将DXA作为骨质疏松患者筛查方式[9]。但现有研究显示，骨骼强度与骨密度、骨髓质量均有相关性，骨密度不能作为判断骨质疏松唯一标准，仅依赖DXA筛查不能充分反应T2DM骨质疏松患者骨质真实情况。因此T2DM患者骨质疏松辅助筛查工具探索具有重要意义。考虑到基层医院推广普及难度、检查便利性及减轻患者经济负担。MRI IDEAL-IQ成为筛查研究T2DM患者骨质疏松的重要方式。当前IDEAL-IQ以运用于多种骨科疾病及T2DM患者相关诊断。当前已有研究，将IDEAL-IQ运用于评估膝骨关节炎(KOA)患者关节周围软组织脂肪浸润程度[10]及运用于T2DM患者腹腔内脏脂肪含量评估[11]。研究结果显示，MRI IDEAL-IQ在T2DM患者及骨科疾病中均有较好的诊断效果。

人体骨骼重塑由成骨细胞、破骨细胞和骨细胞决定，而成骨细胞与人体红、黄骨髓密切相关。随着年龄增长，红骨髓逐渐减少并脂肪化，成骨细胞减少，造成成骨细胞与破骨细胞的动态失衡，进而导致骨质疏松发生[12-13]。因此，当前研究认为骨髓脂肪含量可影响成骨细胞、破骨细胞含量，对骨髓脂肪含量进行评估诊断，可以预测患者骨质疏松风险高低[14-15]。MRI IDEAL-IQ技术采用多回波复数，1个单位面积，收集6个梯度回波。然后根据数据进行重建、修正，区分水和脂肪，计算出选定区域的动态脂肪比，消除T2 STAR序列对脂肪定量的影响，MRI IDEAL-IQ且成像使用小激发角，减小TI序列效应的影响[16-17]。本研究结果显示， 3组FF值比较差异均有统计学意义，且C组(40.39±7.76)%低于B组(53.71±6.43)%，低于A组(58.47±9.61)。郭志等[18]共纳入T2DM患者108例，其研究显示，骨质疏松患者FF值为(71.169±3.17)%，骨量减少患者FF值为(64.603±5.80)%及骨质正常患者FF值为(52.031±11.62)%，均高于本研究患者不同骨质疏松程度FF值。本研究中，女性比例与其接近，推测其原因在于本研究患者年龄范围低于该研究。

通过ROC研究显示，FF值诊断T2DM患者骨量正常与骨量减少AUC面积0.870，最佳截断值46.99%，特异度81.82%，敏感度84.21%；FF值诊断T2DM患者骨量减少与骨质疏松的AUC面积0.642，最佳截断值56.44%，特异度68.42%，敏感度66.67%。提示MRI IDEAL-IQ技术对诊断患者骨量减少具有较高的敏感度、特异度，对于诊断骨质疏松可作为辅助工具。通过二元Logistic回归分析结果显示：T2DM患者FF值≥56.44%是其发生骨质疏松的独立危险因素。分析其原因，成东亮等[19]研究显示体重、身高、BMI和FF值与患者骨质量具有相关性，且FF值与患者体重、身高、BMI呈负相关。体重基数较大糖尿病患者有利于刺激骨细胞及树突状细胞增殖，而BMI较患者对骨细胞刺激减少，一旦骨髓脂肪化，成骨细胞分化遭到抑制，反而骨折风险较高[20-21]。本研究显示，3组年龄差异具有统计学意义，与其研究具有一致性，但BMI差异无统计学意义。推测，年龄是T2DM患者骨质疏松机制之一。其次，多项研究显示，性别是普通患者骨质疏松症影响因素，女性绝经后，受激素水平下降影响，骨骼质量流失加快，骨质疏松症发生率高于男性[22-23]。同时，有研究显示普通老年女性脊柱椎体骨髓FF值高于老年男性[24]。但本研究显示，一般资料性别比较差异无统计学意义，推测与本研究纳入女性样本量有关。

综上所述，MRI IDEAL-IQ通过测量脊柱骨髓FF值，诊断T2DM患者骨质疏松及骨质疏松程度具有较高的敏感度、特异度，可作为有效的辅助诊断工具。研究结果显示，T2DM患者FF值≥56.44%是其发生骨质疏松的独立危险因素，提示需要开展相关防治措施。本研究同样存在一定局限性，例如，本研究纳入例数不足，对研究结果造成一定偏误，同时，年龄、性别与FF值相关性，讨论不足，有待进一步扩大样本量研究证实。

参考文献

[1]王力平,连天星,胡永荣,等.胸部CT椎体HU值在2型糖尿病骨质疏松症机会性筛查中的价值[J].中国组织工程研究,2024,28(6):950-954.

[2]Si Y,Wang C,Guo Y,et al.Prevalence of osteoporosis in patients with type 2 diabetes mellitus in the Chinese mainland:a protocol of systematic review and meta-analysis[J].Medicine (Baltimore),2020,99(16):e19762..

[3]刘鹏飞,连振刚,李逵蒙.腰椎脂肪分数联合R2*值对骨质疏松症的诊断价值分析[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(7):169-171.

[4]马锐,史晓,李冠武,等.绝经后女性血常规指标与骨髓脂肪含量、骨密度相关性研究[J].中国骨质疏松杂志,2022,28(2):244-247,254.

[5]黄国强,唐启英,王福南,等.应用3.0 T磁共振IDEAL-IQ检测椎体骨髓脂肪分数诊断骨质疏松的效能评价[J].中国临床新医学,2023,16(2):156-159.

[6]Alberti KG,Zimmet PZ.Definition,et al.Part 1:diagnosis and classification of diabetes mellitus provisional report of a WHO consultation[J],Diabet Med,1998,15(7):539-53.

[7]中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会.原发性骨质疏松症诊疗指南(2017)[J].中国全科医学,2017,20(32):3963-3982.

[8]In China TWCOTROCHAD,Hu SS.Report on cardiovascular health and diseases in China 2021:an updated summary[J].J Geriatr Cardiol,2023,20(6):399-430.

[9]毛瑞.围绝经期骨质疏松症影响因素及联合双能X线骨密度仪和血清骨硬化蛋白的诊断价值[J].罕少疾病杂志,2024,31(2):106-108.

[10]郝天琦,王雅妹,王国华,等.IDEAL-IQ序列对膝骨关节炎膝周软组织脂肪浸润的定量评估价值[J].实用放射学杂志,2024,40(8):1329-1333.

[11]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.

[12]Ding P,Gao C,Gao Y,et al.Osteocytes regulate senescence of bone and bone marrow[J].Elife,2022,11:e81480.

[13]Delgado-Calle J,Bellido T.The osteocyte as a signaling cell[J].Physiol Rev,2022,102(1):379-410.

[14]Zhang Y,Chen CY,Liu YW,et al.Neuronal induction of bone-fat imbalance through osteocyte neuropeptide Y[J].Adv Sci (Weinh),2021,8(24):e2100808.

[15]Nandy A,Rendina-Ruedy E.Bone marrow adipocytes - Good,bad,or just different[J]? Best Pract Res Clin Endocrinol Metab,2021,35(4):101550.

[16]杲霄源,李金玲,殷志杰,等.IDEAL-IQ序列在绝经后女性骨质疏松症中的应用价值[J].实用放射学杂志,2022,38(2):293-296,338.

[17]高萌,张健,蒋翠花,等.MRI IDEAL-IQ序列对骨质疏松症的诊断价值[J].中国中西医结合影像学杂志,2021,19(5):478-480.

[18]郭志,许崇永.IDEAL-IQ技术在2型糖尿病性骨质疏松症诊断中的应用价值[J].中国中西医结合影像学杂志,2019,17(5):489-492.

[19]成东亮,冯红梅,文戈,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.

[20]Lecka-Czernik B,Khan MP,Letson J,et al.Regulatory effect of osteocytes on extramedullary and bone marrow adipose tissue development and function[J].Curr Osteoporos Rep,2024,22(3):301-307.

[21]Proietto J.Obesity and Bone[J].F1000Res,2020,9:F1000 Faculty Rev-1111.

[22]王津,张云,陈实,等.β-CTX、t-P1NP及N-MID-OT在绝经后女性骨质疏松性骨折风险评估中的应用[J].中国骨质疏松杂志,2024,30(2):176-180.

[23]Barron RL,Oster G,Grauer A,et al.Determinants of imminent fracture risk in postmenopausal women with osteoporosis[J].Osteoporos Int,2020,31(11):2103-2111.

[24]王灿云,姜黄维,任宏,等.IDEAL-IQ定量评价老年人全脊柱椎体骨髓脂肪含量的价值[J].浙江医学,2020,42(21):2296-2299,2377.

(收稿日期：2024-12-10)
(校对：李清芸　排版：张鸿燊)