

论 著

腰椎脂肪分数联合R2*值对骨质疏松症的诊断价值分析*

刘鹏飞¹ 连振刚^{2,*} 李達蒙¹

1.张家口市第一医院骨科

(河北 张家口 075000)

2.张家口市第一医院骨一科

(河北 张家口 075000)

【摘要】目的 探讨腰椎脂肪分数(FF)和R2*值在骨质疏松症的诊断价值。**方法** 回顾性分析2022年1月至2023年12月在我院收治的120例慢性腰痛患者的临床资料。全部患者完成腰椎磁共振成像(MRI)及双能X线(DXA)检查。分析FF、R2*和骨密度(BMD)的相关性。采用受试者工作特征(ROC)曲线评估FF和R2*在骨质疏松症的诊断价值。**结果** 按照T值的不同分为三组,包括骨质正常组30例、骨质降低组41例、骨质疏松症组49例。三组患者的年龄、体重指数、BMD、FF、R2*无明显差异($P<0.05$)。R2*和BMD呈正相关($r=0.5339$, $P<0.05$); FF和BMD呈负相关($r=-0.6470$, $P<0.05$); FF对骨质疏松症的诊断效能AUC为0.893(95%CI: 0.837~0.949),截断值为56.09%,敏感度、特异度分别为83.70%、83.10%,约登指数为0.668。R2*对骨质疏松症的诊断效能AUC为0.843(95%CI: 0.771~0.914),截断值为138.31Hz,敏感度、特异度分别为79.60%、81.70%,约登指数为0.613。二者联合诊断骨质疏松症的AUC为0.931(95%CI: 0.889~0.973),敏感度、特异度分别为77.60%、93.00%,约登指数为0.705。二者联合诊断效能优于二者单独使用的诊断效能($P<0.05$)。**结论** 腰椎R2*和FF均与骨密度密切相关,定量评估骨质疏松症,二者联合可显著提高诊断骨质疏松症的价值。

【关键词】 磁共振成像; 腰椎; R2*; 脂肪分数; 骨质疏松症; 诊断价值; 骨密度

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】张家口市重点研发

计划项目(2121059D)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.07.053

Analysis of Diagnostic Value of Lumbar Spine Fat Fraction Combined with R2* Value for Osteoporosis*

LIU Peng-fei¹, LIAN Zhen-gang^{2,*}, LI Kui-meng¹.

1.Department of Orthopedics III, Zhangjiakou First Hospital, Zhangjiakou 075000, Hebei Province, China

2.Department of Orthopedics I, Zhangjiakou First Hospital, Zhangjiakou 075000, Hebei Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the diagnostic value of lumbar fat fraction (FF) and R2* value in osteoporosis. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 120 patients with chronic low back pain admitted to our hospital from January 2022 to December 2023. All patients completed lumbar magnetic resonance imaging (MRI) and dual energy X-ray (DXA) examinations. Analyze the correlation between FF, R2*, and bone density (BMD). Evaluate the diagnostic value of FF and R2* in osteoporosis using receiver operating characteristic (ROC) curves. **Results** Divided into three groups according to different T values, including 30 cases in the normal bone group, 41 cases in the osteopenia group, and 49 cases in the osteoporosis group. There was no significant difference in age, body mass index, BMD, FF, and R2* among the three groups of patients ($P<0.05$). R2* is positively correlated with BMD ($r=0.5339$, $P<0.05$); FF and BMD are negatively correlated ($r=-0.6470$, $P<0.05$). The diagnostic efficacy of FF for osteoporosis (AUC) was 0.893 (95% CI: 0.837-0.949), with a cutoff value of 56.09%. The sensitivity and specificity were 83.70% and 83.10%, respectively, and the Jordan index was 0.668. The diagnostic efficacy AUC of R2* for osteoporosis is 0.843 (95% CI: 0.771~0.914), with a cutoff value of 138.31Hz, sensitivity and specificity of 79.60% and 81.70%, respectively, and a Jordan index of 0.613. The AUC for the combined diagnosis of osteoporosis was 0.931 (95% CI: 0.889~0.973), with sensitivity and specificity of 77.60% and 93.00%, respectively, and a Jordan index of 0.705. The combined diagnostic efficacy of the two is better than that of using them alone ($P<0.05$). **Conclusion** Lumbar R2* and FF are closely related to bone density, and quantitative evaluation of osteoporosis can significantly improve the diagnostic value of osteoporosis when combined.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Lumbar Vertebra; R2*; Fat Fraction; Osteoporosis; Diagnostic Value; Bone Mineral Density

骨质疏松症是种严重影响老年人健康的全身性疾病,其诊断和评估主要依靠骨密度(BMD)测量^[1]。最近的研究表明,骨髓脂肪组织(BMAT)在骨质疏松症的发生和发展中起重要作用,脂肪分数(FF)可对BMAT量化,有助于校正BMD,可能是骨质疏松症的新型生物标志物^[2]。磁共振成像(MRI)在量化骨髓组成方面具有明显的优势,通过对不对称回波的最小二乘估算法迭代水脂分离(IDEAL-IQ)序列进行图像多回声采集,一次扫描即可获得FF成像、R2*成像、脂肪成像和水成像,进而分析其数值^[3]。椎体的R2*和FF与BMD之间的相关性成为研究的热点,但其相关报道较少,二者在骨质疏松症定量评估中的作用仍需进一步验证。因此本研究回顾性分析了接受腰椎IDEAL-IQ序列扫描120例慢性腰痛患者的临床资料,探讨R2*与FF对骨质疏松症的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 对2022年1月至2023年12月在我院进行腰椎磁共振成像(MRI)及双能X线(DXA)检测的120例慢性腰痛患者的临床资料进行回顾性分析。120例患者中男性57例、女性63例、年龄20~86岁,体重指数17~27g/m²。

纳入标准: 患者主诉有慢性腰痛症状;临床资料完整;完成腰椎磁共振成像(MRI)及双能X线(DXA)检测;患者签署书面知情同意书。**排除标准:** 椎体骨质局部骨硬化、椎体外伤、骨肿瘤、脊柱侧弯等病变;自身免疫系统、内分泌系统、造血系统、代谢系统病变;腰椎既往手术治疗史。

1.2 方法

1.2.1 DXA检测 使用美国HOLOGIC双能X线骨密度仪测定腰椎(L1-L5)的骨密度(BMD),取脊柱正位,电压100-140kV,电流2.5-3.0mA,扫描长20.4cm×宽11.4cm,测定L1-L5椎体前后位BMD,自动计算T值,按照骨质疏松症诊疗指南中判定详情规定^[4],将120例患者分为骨质正常组(T值≥-1.0 SD)、骨质降低组(T值介于-1.0~-2.5 SD之间)、骨质疏松症组(T值≤-2.5 SD)。

1.2.2 MRI扫描 使用GE Healthcare Discovery 750型3.0 T 超导 MR 扫描仪进行MRI检查,具有标准的人体线圈和矢状扫描。在不对称回波的最小二乘估算法迭代水脂分离(IDEAL-IQ)序列前,T₁加权图像(T₁WI):重复时间(TR)/回波时间(TE)=400/13 ms,T₂加权图像(T₂WI):TR/TE=2500/102 ms、FOV 36cm×36cm,矩阵 224×192,像素大小 1.6mm×1.9mm,切片厚度 3 mm,交际间隙 0.4,激发次数 1。理想IQ:TR 7.4

【第一作者】刘鹏飞,男,主治医师,主要研究方向:骨外科学。E-mail: lpfspine@sina.com

【通讯作者】连振刚,男,副主任医师,主要研究方向:骨外科学。E-mail: 78906069@qq.com

ms, 最小TE 1.3 ms, 最大TE 5.3 ms, 翻转角度4°, 回波序列长度 5, 带宽111.1 kHz, 其他设置与上述相同。使用IDEAL-IQ序列一次扫描获得纯水图像、纯脂肪图像、脂肪分数(FF)图像和R2*弛豫率图像共四组图像。在ADW 4.7工作站的查看器模块上进行FF和R2*的测量, 选择FF图像和R2*弛豫率图像的正中矢状图中椎体的前2/3处画一个矩形感兴趣区域(ROI), 注意避开椎静脉沟, 连续测量第1-5腰椎的FF和R2*值, 见图1所示。所有操作由2位具有8年以上骨骼影像学经验的医生独立进行, 以2位医师测量值的平均值为最终值。

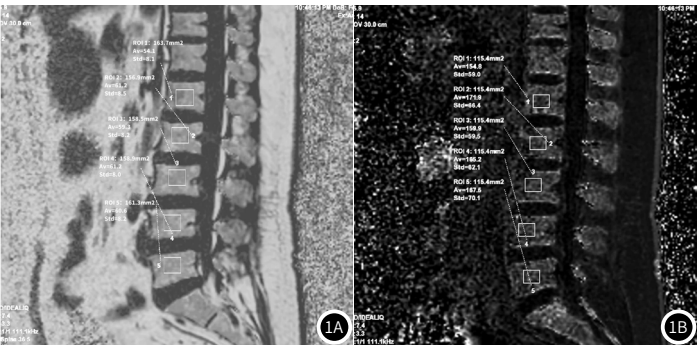


图1A-图1B IDEAL-IQ的FF图像和R2*弛豫率图像, 1A: FF示意图, 分别测定L1-L5椎体的FF为25.83%、26.19%、28.34%、25.78%、26.95%; 1B: R2*值示意图, 测定L1-L5椎体的R2*值为176.21Hz、169.84Hz、173.56Hz、174.91Hz、168.95Hz。

1.3 统计学处理 运用MedCalc软件进行Bland-Altman分析FF和R2*的一致性, 运用SPSS 27.0进行数据统计, 满足正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示, 多组间比较行方差分析, 两两比较行t检验, 使用Pearson检验评估FF、R2*和BMD的相关性。采用受试者工作特征(ROC)曲线评估FF和R2*诊断骨质疏松症的价值。所有检验差异显著设置为 $P<0.05$ 。

表1 不同骨质状态患者的临床特征比较

指标	骨质正常组 (n=30)	骨质降低组 (n=41)	骨质疏松症组 (n=49)	F值	P值
男/女	17/13	19/22	21/28	1.457	0.483
年龄(岁)	36.93±9.25	50.34±12.56	67.24±8.23	86.624	0.000
体重指数(g/m ²)	23.17±1.94	21.05±1.36	20.06±1.57	34.806	0.000
BMD(mg/cm ³)	148.95±15.68	91.56±10.84	61.47±20.56	59.905	0.000
FF(%)	40.82±8.35	52.90±6.66	61.65±6.28	83.181	0.000
R2*(Hz)	152.36±12.61	144.90±11.50	132.23±9.68	33.385	0.000

2 结果

2.1 一致性评价 全部100患者经2位医师测得FF和R2*数据后, 经Bland-Altman分析结果显示, ICC分别为0.893、0.902, 结果具有良好的一致性($P<0.01$)。见图2。

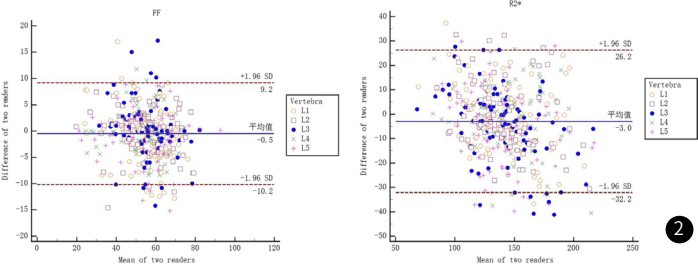


图2 Bland-Altman分析FF和R2*的一致性

2.2 不同骨质状态的临床特征比较 按照T值的不同分为骨质正常组(n=30)、骨质降低组(n=41)、骨质疏松症组(n=49)。三组在性别上无明显差异($P>0.05$); 三组患者在年龄、体重指数、BMD、FF、R2*的差异有统计学意义($P<0.05$)。见表1。

2.3 FF、R2*和BMD的相关性分析 使用Pearson检验分析结果显示, FF和BMD呈负相关($r=-0.6470$, $P<0.05$); R2*和BMD呈正相关($r=0.5339$, $P<0.05$)。见图3。

2.4 FF、R2*对骨质疏松症的诊断价值 经ROC曲线分析结果显示, FF对骨质疏松症具有良好诊断效能, AUC为0.893(95%CI: 0.837~0.949), 截断值为56.09%, 敏感度、特异度分别为83.70%、83.10%, 约登指数为0.668; R2*对骨质疏松症具有良好诊断效能, AUC为0.843(95%CI: 0.771~0.914), 截断值为138.31Hz, 敏感度、特异度分别为79.60%、81.70%, 约登指数为0.613。二者联合诊断骨质疏松症的AUC为0.931(95%CI: 0.889~0.973)敏感度、特异度分别为77.60%、93.00%, 约登指数为0.705, 具有更好的诊断效能。

表2 FF、R2*对骨质疏松症的诊断效能

指标	AUC	95%CI	P	临界值	敏感度(%)	特异度(%)	约登指数
FF(%)	0.893	0.837~0.949	0.000	56.09	83.70	83.10	0.668
R2*(Hz)	0.843	0.771~0.914	0.000	138.31	79.60	81.70	0.613
二者联合	0.931	0.889~0.973	0.000	-	77.60	93.00	0.705

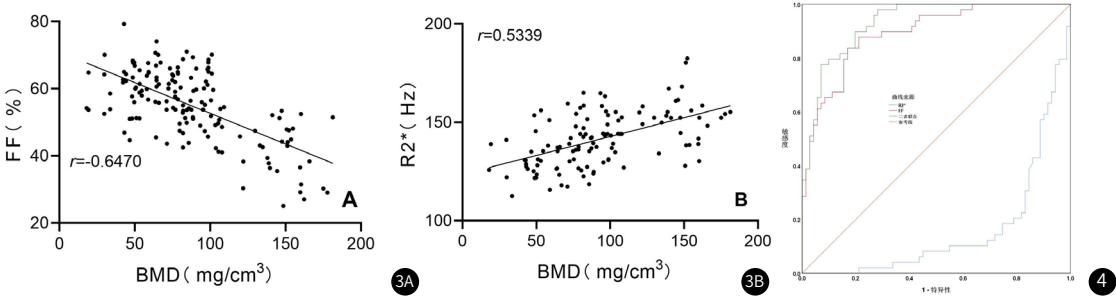


图3A-图3B FF、R2*和BMD的相关性, 3A: FF和BMD的相关性; 3B: R2*和BMD的相关性。
图4 ROC曲线分析FF、R2*对骨质疏松症的诊断价值

3 讨论

骨髓在人体生长、衰老和多种疾病过程中具有重要作用, BMAT占骨髓的70%, 可抑制成骨细胞分化和增殖, 造成骨形成减少和BMD降低^[5]。通过MRI对BMAT进行量化分析获得FF值, 对了解腰椎椎骨矿物质状态及骨质流失情况具有重要意义^[6]。Ergen等^[7]研究结果显示, FF与椎体BMD之间存在显著的负相关, 经ROC曲线分析, FF可用于骨质疏松症的诊断, AUC值为0.80(95%CI 0.82-0.86), 使用FF可评估椎骨矿物质的损失。Krug等^[8]使用MRI定量评估腰椎的FF发现, FF与腰椎BMD、疼痛程度、Oswestry残疾指数(ODI)密切相关, FF水平升高预示椎间盘退行性变加速。

骨质疏松症患者骨矿物质含量降低, 骨小梁变薄, 小梁间隙增大, 其残余空间被大量脂肪组织填充, 红骨髓含量相对降低, 铁蛋白主要位于红骨髓中, R2*与铁蛋白在骨髓中的沉积有关^[9]。由于骨比骨髓更顺磁性, 小梁-骨髓界面会造成MRI的局部磁场不均匀性, 通过MRI测量获得的R2*值可用于评估骨质疏松症患者骨质损伤的程度^[10]。R2*是有效横向弛豫时间[T2*]的倒数, 近年来越来越多研究表明R2*鉴别骨质疏松性、创伤性和恶性椎体骨折、再生障碍性贫血、骨髓增生异常综合征等多种病变^[11]。有研究指出, 椎骨髓的R2*与红骨髓的铁蛋白含量以及小梁的密度和方向相关, 参与椎体病变的进程^[12]。

本研究中, 根据骨质疏松症诊疗指南中以T值作为诊断金标准, 将120例慢性腰痛患者分为骨质正常组、骨质降低组、骨质疏松症三个小组。统计临床资料后发现, 三组患者在年龄、体重指数、BMD、FF、R2*的差异有统计学意义($P<0.05$)。研究结果提示, 骨质疏松症患者可能存在更高的年龄、更低的体重指数、更高的FF水平及更低的R2*水平。本研究运用Pearson检验评估FF、R2*与BMD的相关性结果发现, FF和BMD存在明显负相关($r=-0.6470$, $P<0.05$); R2*和BMD存在明显正相关($r=0.5339$, $P<0.05$)。结果提示, FF、R2*与骨质疏松症密切相关, 可能与骨质疏松症小梁间隙扩大、小梁-骨髓界面减少和红骨髓脂肪转化增多有关。本研究基于MRI的IDEAL-IQ序列研究了椎体R2*与FF与骨质疏松症的关系, 结果显示, R2*与FF和BMD之间存在明确的线性关系, 可作为骨质疏松症的诊断指标, 在精细量化骨髓转化和骨矿物质流失方面具有一定的潜力。

为进一步探讨FF、R2*与骨质疏松症关系, 本研究运用ROC曲线分析二者对骨质疏松症的诊断价值, 结果发现, 二者均可用于骨质疏松症的诊断, 前者AUC为0.893(95%CI: 0.837~0.949), 后者AUC为0.843(95%CI: 0.771~0.914), 且二者联合用于骨质疏松症的诊断的AUC为0.931(95%CI: 0.889~0.973), 诊断效能明显高于二者单独使用, 结果证实, FF、R2*可用于骨质疏松症的诊断, 可作为BMD的补充, 用于骨质疏松症的精细定量评估, 客观反应骨质疏松症骨髓转化和骨小梁的微观结构变化进程, 对该病的临床诊疗具有良好指导意义。

综上所述, MRI测定腰椎R2*和FF与骨密度密切相关, 可用于骨质疏松症定量评估, 二者联合可显著提高诊断骨质疏松症的价值。本研究仍然存在一些不足之处。首先, 这研究是在少数受试者的单个中心进行的, 有必要开展多中心试验中纳入更大规模的患者队列, 以进一步验证本研究结论。其次, 由于软件限制, 无法保证ROI的形状和面积是一致的, 可能引起一些潜在的错误。

参考文献

- [1]王永炫, 李梅, 章振林, 等.《原发性骨质疏松症诊疗指南(2022)》要点解读[J].协和医学杂志, 2023, 14(6): 1203-1207.
- [2]王礼宁, 朱弈桦, 马勇, 等.骨质疏松视下骨脂代谢相关调控网络的研究[J].中国骨质疏松杂志, 2023, 29(3): 437-443.
- [3]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.
- [4]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(2022)[J].中国全科医学, 2023, 26(14): 1671-1691.
- [5]韩升龙, 孔令俊, 邓叶龙, 等.脂肪因子调控骨代谢作用研究进展[J].中国骨质疏松杂志, 2023, 29(11): 1701-1705, 1716.
- [6]周凤, 吕富荣.MRI定量技术在骨质疏松症中的应用现状及进展[J].磁共振成像, 2023, 14(9): 192-197.
- [7]Ergen FB, Gulal G, Yildiz AE, et al. Fat fraction estimation of the vertebrae in females using the T2*-IDEAL technique in detection of reduced bone mineralization level: comparison with bone mineral densitometry[J]. J Comput Assist Tomogr. 2014, 38(2): 320-324.
- [8]Krug R, Joseph GB, Han M, et al. Associations between vertebral body fat fraction and intervertebral disc biochemical composition as assessed by quantitative MRI[J]. J Magn Reson Imaging. 2019, 50(4): 1219-1226.
- [9]果霄源, 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.
- [10]常荣, 张红, 刘正华, 等. MRI m-Dixon-Quant技术快速评估中老年骨质疏松症的可行性研究[J]. 实用放射学杂志, 2018, 34(12): 1908-1911, 1944.
- [11]张思伟, 陈凯, 易云平, 等. 骨质疏松症骨髓微环境定量MRI评估技术的研究进展[J]. 现代医院, 2022, 22(8): 1295-1298, 1305.
- [12]Lu F, Zhao YJ, Ni JM, et al. Adding liver R2* quantification to proton density fat fraction MRI of vertebral bone marrow improves the prediction of osteoporosis[J]. Eur Radiol, 2022, 32(10): 7108-7116.

(收稿日期: 2024-04-15)

(校对编辑: 孙晓晴)