

MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物在评估骨质疏松症中的临床价值*

陈晓丽¹ 马洪宇^{1,*} 石少聪¹王国庆¹ 张建保²

1.郑州市中医院/河南中医药大学附属

郑州中医院放射科(河南郑州450007)

2.郑州市骨科医院放射科(河南郑州450052)

【摘要】目的 探讨磁共振成像(MRI)腰椎骨髓脂肪定量参数质子密度脂肪分数(PDFF)结合骨代谢标志物在评估骨质疏松症(OP)中的临床价值。**方法** 选取慢性腰痛患者119例,病例收集时间为2024年1月至2025年3月,均来源于我院,患者均行腰椎定量电子计算机断层扫描(QCT)及MRI腰椎骨髓脂肪定量技术检查,根据患者骨质状态分为骨量正常、骨量减少和OP组,各为29、43和47例。收集患者资料,比较各组骨密度(BMD)值、MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF及血清25-羟基维生素D₃[25(OH)D₃]、I型前胶原氨基端前肽(PINP)、β-胶原特殊序列(β-CTX)、骨钙素(OC)水平,分析MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF与骨代谢标志物的相关性和MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF、骨代谢标志物与BMD的相关性,并分析MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物对OP的诊断价值。**结果** BMD值及25(OH)D₃、PINP、OC在骨量正常、骨量减少、OP组之间逐渐降低($P<0.05$),而PDFF及β-CTX水平在三组间逐渐升高($P<0.05$)。PDFF与β-CTX呈正相关,与25(OH)D₃、PINP、OC呈负相关($P<0.05$);BMD值与PDFF、β-CTX呈负相关,与25(OH)D₃、PINP、OC呈正相关($P<0.05$)。PDFF及25(OH)D₃、PINP、β-CTX、OC联合检测诊断OP的AUC值为0.932,高于各指标单独检测(0.794、0.847、0.736、0.800、0.781, $P<0.05$)。**结论** OP患者MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF及血清β-CTX水平较高,而BMD值及血清25(OH)D₃、PINP、OC水平较低,上述指标之间存在一定联系,且MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物在评估OP中具有一定优势。

【关键词】 骨质疏松症; 磁共振成像; 质子密度脂肪分数; 骨代谢; 相关性; 诊断价值

【中图分类号】 R681; R445.2

【文献标识码】 A

【基金项目】 河南省医学科技攻关

计划项目(LHGJ20210794);

2024年度郑州市医疗卫生领域科技

创新指导计划项目(2024YLZDJH244)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.02.044

Clinical Value of MRI Lumbar Bone Marrow Fat Quantification Parameter PDFF Combined with Bone Metabolism Markers in the Assessment of Osteoporosis*

CHEN Xiao-li¹, MA Hong-yu^{1,*}, SHI Shao-cong¹, WANG Guo-qing¹, ZHANG Jian-bao².

1.Department of Radiology, Zhengzhou TCM Hospital/Zhengzhou TCM Hospital Affiliated to Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450007, Henan Province, China

2.Department of Radiology, Zhengzhou Orthopaedic Hospital, Zhengzhou 450052, Henan Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the clinical value of MRI lumbar spine bone marrow fat quantification parameter proton density fat fraction (PDFF) combined with bone metabolism markers in the assessment of osteoporosis (OP). **Methods** 119 chronic low back pain patients were selected, the cases were collected from January 2024 to March 2025, all of them originated from our hospital, and the selected patients underwent lumbar spine QCT examination and MRI lumbar spine bone marrow fat quantitative technique, and according to the patients' bone status they were divided into the groups of normal bone mass, reduced bone mass, and OP, which were 29, 43, and 47 cases respectively. Patient data were collected, and BMD values, MRI lumbar bone marrow fat quantification parameters PDFF, and serum 25(OH)D₃, PINP, β-CTX, and OC of the groups were compared, and the correlation between MRI lumbar spine bone marrow fat quantification parameter PDFF and bone metabolism markers, and the correlation between MRI lumbar spine bone marrow fat quantification parameter PDFF, bone metabolism markers, and bone mineral density were analyzed, and the diagnostic value of MRI lumbar spine bone marrow fat quantitative parameter PDFF combined with bone metabolic markers for OP was analyzed. **Results** BMD values and 25(OH)D₃, PINP, and OC gradually decreased between the normal bone mass, decreased bone mass, and OP groups ($P<0.05$), whereas PDFF and β-CTX gradually increased between the three groups ($P<0.05$). PDFF was positively correlated with β-CTX and negatively correlated with 25(OH)D₃, PINP, and OC ($P<0.05$); and the value of BMD was negatively correlated with PDFF, β-CTX, whereas they were positively correlated with 25(OH)D₃, PINP, and OC ($P<0.05$). The combination of PDFF and 25(OH)D₃, PINP, β-CTX, and OC tests for diagnosis of OP had an AUC value of 0.932, higher than the individual detection of each index (0.794, 0.847, 0.736, 0.800, 0.781, $P<0.05$). **Conclusion** The MRI lumbar bone marrow fat quantitative parameter PDFF and serum β-CTX were higher in OP patients, while the BMD values and serum 25(OH)D₃, PINP, and OC were lower. There was a certain connection between the above indexes, and the combination of the MRI lumbar bone marrow fat quantitative parameter PDFF with the bone metabolism markers is advantageous in the assessment of OP.

Keywords: Osteoporosis; Magnetic Resonance Imaging; Proton Density Fat Fraction; Bone Metabolism; Correlation; Diagnostic Value

据调查^[1-2],骨质疏松症(OP)在我国50岁以上人群中的患病率约19.2%,且近年来呈一定的升高趋势,患者一旦出现OP会增加骨折的风险。因此,早期准确诊断OP对临床及时治疗该病十分关键。双能X线吸收测量法是评估BMD经典方法,但其诊断准确度和精确度欠佳^[3]。腰椎定量电子计算机断层扫描(QCT)是在电子计算机断层扫描(CT)扫描数据的基础上,经专业软件分析测量BMD的方法,相较于双能X线吸收测量法,其能更敏感地反映骨质疏松情况^[4]。磁共振成像(MRI)腰椎骨髓脂肪定量参数质子密度脂肪分数(PDFF)作为骨质量的新指标,能提供更客观的骨质疏松依据^[5]。此外,OP进展过程中骨代谢也占据重要作用。25-羟基维生素D₃[25(OH)D₃]、I型前胶原氨基端前肽(PINP)、β-胶原特殊序列(β-CTX)、骨钙素(OC)是一类可评估机体骨代谢的指标^[6-8]。但目前关于MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物在评估OP中的临床价值报道尚有限。基于此,设计本研究旨在进一步探索MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物对OP的评估价值,为临床早期准确诊断OP提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取慢性腰痛患者119例,病例收集时间为2024年1月至2025年3月,均来源于我院,本研究已取得我院伦理委员会批准。

纳入标准: 主诉有慢性腰痛症状者;年龄≥50岁者;签署知情同意书者等。排除标准:对MRI、腰椎QCT检查存在相关禁忌者;既往接受过腰椎手术者;伴有脊柱侧弯、脊柱骨折、骨肿瘤及椎体外伤史者;长期接受激素及影响骨代谢的药物者;伴有自身免疫性、免疫缺陷及血液系统疾病者;精神异常者等。

1.2 方法

1.2.1 腰椎QCT检查 采用西门子双源CT Flash CT机及Midways公司的校准体模对患者

【第一作者】 陈晓丽,女,主管技师,主要研究方向:腹盆部影像技术。E-mail: 15903615949@163.com

【通讯作者】 马洪宇,男,副主任医师,主要研究方向:腹盆部影像诊断。E-mail: mahongyu@126.com

进行螺旋扫描,参数设置:管电流、管电压分别为110 mA、120 kV,螺距0.8,旋转时间1 s,层厚、视野分别为3 mm、20 cm。

自L₁椎体上缘至L₂椎体下缘进行扫描,上传获取的图像至QCT分析工作站,测量L₁~L₂椎体松质骨BMD,设置感兴趣区,并取均值作为最终测量值。根据患者骨质状态^[9]分为骨量正常(BMD绝对值>120 mg/cm³)、骨量减少(80~120 mg/cm³)和OP(<80 mg/cm³)组,各为29、43和47例。

1.2.2 MRI腰椎骨髓脂肪定量技术检查 患者在行腰椎QCT扫描1周内,行MRI腰椎骨髓脂肪定量技术检查,先常规扫描腰椎,然后行MRI腰椎骨髓脂肪定量技术扫描,采用德国西门子Vida 3.0 T磁共振扫描仪进行扫描,头先进,双手置于身体两侧,从头向脚方向扫描,扫描参数:腰椎矢状面T1加权成像(T1WI)、T2加权成像(T2WI TSE Dixon)和Liver-lab序列扫描,矢状面以L3椎体为中心。矢状位Liver-Lab序列扫描参数:重复时间(TR)9.00 ms,回波时间(TE)1.05、2.46、3.69、4.92、6.15、7.38 ms,翻转角4°,层厚、扫描视野分别为3.5 mm、40 cm×40 cm,矩阵380×304,激励次数为1。由2名放射科医师在西门子磁共振工作站上图像后处理分析(双盲法),勾画感兴趣区,测量腰椎L₁~L₅椎体的PDFF值,测量3次并取平均值。

1.2.3 资料收集 收集患者体质质量指数(BMI)、年龄、性别及BMD值等资料。

1.2.4 骨代谢指标水平检测 患者入院后24 h内抽取静脉血3 mL,予以cobas e 601全自动生化分析仪检测血清(血清标本经离心后

获取,离心半径8cm,时间15min)25(OH)D₃、PINP、β-CTX、OC水平。

1.3 统计学处理 采用SPSS 26.0软件统计数据,计量资料经检验满足正态分布,以($\bar{x} \pm s$)表示,行t检验或单因素方差分析;计数资料行 χ^2 或 χ^2 趋势检验,以[n(%)]表示。相关性分析予以Pearson相关性分析。绘制ROC曲线分析MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物对OP的诊断价值。检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧)。P<0.05为存在统计学差异。

2 结果

2.1 三组一般资料及BMD值比较 BMD值在骨量正常、骨量减少、OP组之间逐渐降低(P<0.05),见表1。

2.2 三组MRI腰椎骨髓脂肪定量参数 PDFF及血清25(OH)D₃、PINP、β-CTX、OC水平比较 PDFF及β-CTX水平在骨量正常、骨量减少、OP组之间逐渐升高,而血清25(OH)D₃、PINP、OC水平在三组之间逐渐降低(P<0.05),见表2。

2.3 MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF与骨代谢标志物的相关性 PDFF与β-CTX呈正相关,与25(OH)D₃、PINP、OC呈负相关(P<0.05),见表3。

2.4 MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF、骨代谢标志物与BMD的相关性 BMD值与PDFF、β-CTX呈负相关,与25(OH)D₃、PINP、OC呈正相关(P<0.05),见表4。

表1 三组一般资料及BMD值比较

指标	OP组(n=47)	骨量减少组(n=43)	骨量正常组(n=29)	F/ χ^2 值	P值
BMI(kg/m ²)	23.87±1.55	23.92±1.52	23.95±1.61	0.026	0.947
年龄(岁)	63.22±5.12	63.19±5.08	63.07±5.23	0.008	0.992
性别[n(%)]				0.039	0.981
男	25(53.19)	22(51.16)	15(51.72)		
女	22(46.81)	21(48.84)	14(48.28)		
BMD(mg/cm ³)	61.43±3.19 ^{ab}	103.17±5.22 ^a	151.54±10.07	1916.562	<0.001

注:与骨量正常组比较,^aP<0.05;与骨量减少组比较,^bP<0.05。

表2 三组MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF及血清25(OH)D₃、PINP、β-CTX、OC水平比较

指标	OP组(n=47)	骨量减少组(n=43)	骨量正常组(n=29)	F值	P值
PDFF(%)	59.22±10.37 ^{ab}	53.48±5.29 ^a	41.37±4.33	50.136	<0.001
25(OH)D ₃ (ng/mL)	19.48±6.15 ^{ab}	23.41±6.10 ^a	42.34±7.11	122.966	<0.001
PINP(ng/mL)	20.87±3.44 ^{ab}	25.43±3.56 ^a	35.47±5.89	109.059	<0.001
β-CTX(ng/mL)	1.79±0.52 ^{ab}	1.22±0.32 ^a	0.69±0.10	76.066	<0.001
OC(ng/mL)	9.22±3.03 ^{ab}	12.67±3.13 ^a	19.45±2.37	110.170	<0.001

注:与骨量正常组比较,^aP<0.05;与骨量减少组比较,^bP<0.05。

表3 MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF与骨代谢标志物的相关性

指标	PDFF	
	r	P
25(OH)D ₃	-0.461	0.015
PINP	-0.425	0.009
β-CTX	0.579	0.002
OC	-0.459	0.013

表4 MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF、骨代谢标志物与BMD的相关性

指标	BMD值	
	r	P
PDFF	-0.467	0.010
25(OH)D ₃	0.586	0.001
PINP	0.573	0.005
β-CTX	-0.490	0.019
OC	0.522	0.007

2.5 MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物对OP的诊断价值 PDFF及25(OH)D₃、PINP、β-CTX、OC联合检测诊断OP的AUC值为0.932，高于各指标单独检测(0.794、0.847、0.736、0.800、0.781, P<0.05)，见表5、图1。

2.6 骨质含量正常人群与OP患者QCT结果及MRI腰椎骨髓脂肪定量图 见图2。

表5 MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物对OP的诊断价值

指标	截断值	AUC	95%CI	P值	敏感度(%)	特异度(%)
PDFF	58.65%	0.794 ^c	0.710~0.863	<0.001	60.19	98.61
25(OH)D ₃	27.18 ng/mL	0.847 ^c	0.769~0.906	<0.001	72.22	87.23
PINP	24.28 ng/mL	0.736 ^c	0.647~0.813	<0.001	70.83	87.23
β-CTX	1.27 ng/mL	0.800 ^c	0.717~0.868	<0.001	80.85	68.06
OC	12.35 ng/mL	0.781 ^c	0.696~0.851	<0.001	75.00	78.72
联合检测		0.932	0.871~0.970	<0.001	87.23	84.72

注：与联合检测比较，^cP<0.05。

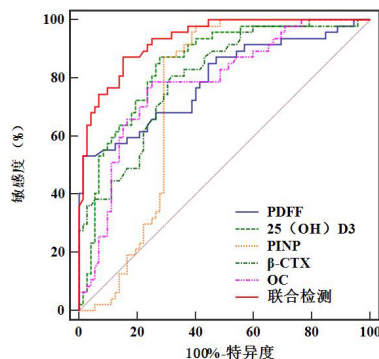


图1 MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物诊断OP的ROC曲线。

分析结果

感兴趣区	BMD (mg/cc)	T值	Z值
T11	-	-	-
T12	-	-	-
L1	153.6	-0.3	0.9
L2	158.7	-0.2	1.1
L3	-	-	-
L4	-	-	-
均值	156.1	-0.24	1.00

同龄人的正常值 (CHN男) 127.1 +/- 29

解读 该患者腰椎骨密度值大于120mg/cm³，诊断为骨密度正常。

QCT骨质疏松症诊断标准*

腰椎骨密度值	诊断分类
高于120 mg/cm ³	正常
介于80至120mg/cm ³ 之间	低骨量
低于80mg/cm ³	骨质疏松

分析结果

感兴趣区	BMD (mg/cc)	T值	Z值
T11	-	-	-
T12	-	-	-
L1	58.1	-4.1	-0.9
L2	58.6	-4.1	-0.9
L3	-	-	-
L4	-	-	-
均值	58.3	-4.13	-0.92

同龄人的正常值 (CHN女) 85.0 +/- 29

解读 该患者腰椎骨密度值低于80mg/cm³，诊断为骨质疏松。

QCT骨质疏松症诊断标准*

腰椎骨密度值	诊断分类
高于120 mg/cm ³	正常
介于80至120mg/cm ³ 之间	低骨量
低于80mg/cm ³	骨质疏松

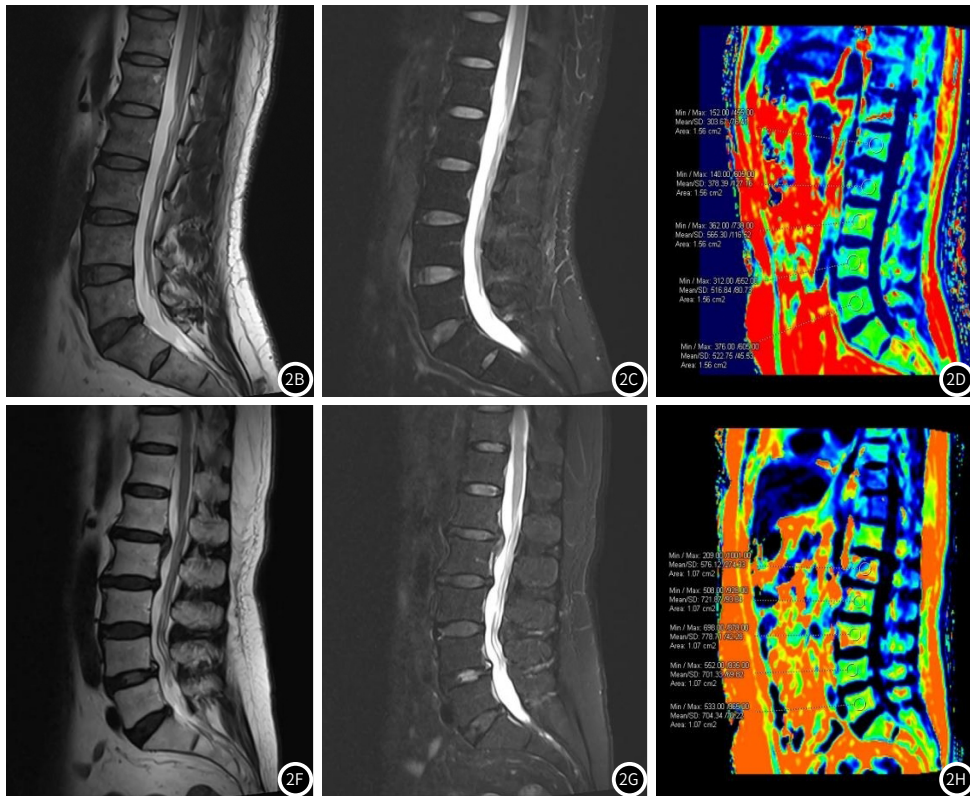


图2 骨质含量正常人群与骨质疏松患者QCT结果及MRI腰椎骨髓脂肪定量图。图2A~2D图：骨质含量正常人群腰椎QCT结果及腰椎磁共振图，依次为QCT结果、T2WI In-Phase(同相位)、T2WI-Water(压脂图)、脂肪定量PDFF图，PDFF图上白色圆圈示L1-5椎体骨髓脂肪测量ROI；图2E~2H图：OP患者腰椎QCT结果及腰椎磁共振图，依次为QCT结果、T2WI In-Phase(同相位)、T2WI-Water(压脂图)、脂肪定量PDFF图，PDFF图上白色圆圈示L1-5椎体骨髓脂肪测量ROI。

3 讨论

近年来据报道^[10]显示，OP的患病率快速攀升。OP会增加患者发生骨折的风险，致使患者生活质量显著降低^[11]。因此，有必要在OP发生前期直接或间接预测其骨质量，以提前采取有效措施，干预或延缓OP的发生，并降低其发生率^[12]。近年来骨质量对于骨强度的影响受到临床重视，如何定量评估骨质量已成为现阶段研究的热点。本研究探索MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物在评估OP中的临床价值，能为临床防治OP提供一定的指导意义。

OP患者年龄多较大，随着患者体内的红骨髓萎缩，骨髓微环境发生改变，可引起成骨细胞生成受阻，骨小梁变薄，脂肪组织填充残留空间，导致骨强度下降，而这种骨髓脂肪的变化能被MRI显现^[13-14]。MRI腰椎骨髓脂肪定量技术能精确地测量椎体内的脂肪含量，该技术具有无创、无电离辐射、操作简单、精准可靠及重复性高等优点，对骨髓脂肪含量的定量评估起重要作用^[15-16]。有学者^[17]发现，OP患者伴随着椎体的脂肪化，BMD显著下降，骨髓脂肪含量明显增高。25(OH)D₃是维生素D的主要循环形式，能促进

肠道钙磷吸收,维持血钙平衡,其通过激活成骨细胞中的维生素D受体,可间接调节骨形成和骨吸收^[18]。PINP是成骨细胞合成I型胶原时的副产物,可反映骨形成活性^[19]。OC由成骨细胞分泌,参与骨基质矿化,同时受维生素K调控,其兼具骨形成标志物和内分泌调节功能^[20]。β-CTX是破骨细胞降解I型胶原时释放的特异性片段,标志骨吸收活性^[21]。本研究中BMD值及25(OH)D₃、PINP、OC在骨量正常、减少、OP组之间逐渐降低,而PDFF及β-CTX逐渐升高,且PDFF与β-CTX呈正相关,与25(OH)D₃、PINP、OC呈负相关,BMD值与PDFF、β-CTX呈负相关,与25(OH)D₃、PINP、OC呈正相关,提示OP患者MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF及血清β-CTX水平较高,而BMD值及血清25(OH)D₃、PINP、OC水平较低,且上述指标之间存在一定的联系。推测其中的机制可能为,MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF反映骨髓中脂肪细胞与造血细胞的相对比例,正常骨髓以造血组织为主,PDFF较低,而OP患者骨髓脂肪细胞浸润增多,PDFF显著升高^[22]。另外25(OH)D₃缺乏时启动恶性循环,导致血钙下降,破骨细胞活化,而破骨细胞活化可引起β-CTX显著升高,导致骨吸收大于骨形成,进一步引起PINP、OC水平显著下降,加速骨流失,进而引发OP^[23-25]。

本研究ROC分析结果显示,PDFF及血清25(OH)D₃、PINP、β-CTX、OC联合检测诊断OP的AUC值为0.932,高于各指标单独检测,提示MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物在评估OP中具有一定优势。考虑其原因可能为,PDFF及血清25(OH)D₃、PINP、β-CTX、OC联合检测能弥补单一检测的不足,提高诊断准确度和敏感度,进而有助于提高评估价值。

综上,OP患者MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF及血清β-CTX水平较高,而BMD值及血清25(OH)D₃、PINP、OC水平较低,上述指标之间存在一定的联系,且MRI腰椎骨髓脂肪定量参数PDFF结合骨代谢标志物在评估OP中具有一定优势。但本研究受人力、时间等资源限制,仅纳入了119例观察样本,且仅限于本地区,样本代表性具有一定局限性;同时本研究因研究条件局限,无法对OP发生的分子及基因组学机制进行探索。未来,需开展更深入的研究,进一步验证本研究结果。

参考文献

- [1]张翔亚,刘玉珂,成国印,等.多模态影像对骨质疏松与转移性椎体压缩骨折的鉴别诊断[J].罕少疾病杂志,2025,32(10):122-125.
- [2]Baumann AN,Trager RJ,Gong DC,et al.Osteoporosis is not associated with reoperation or pseudarthrosis after anterior cervical discectomy and fusion through 4-years' follow-up:a retrospective cohort study of us academic health centers[J].Spine J,2025,25(2):290-298.
- [3]杨行,廖凯,夏春潮,等.定量CT参数联合血生化指标对中老年人腰椎骨密度的评估[J].四川医学,2024,45(9):946-950.
- [4]李小海,谢光友,梁力嵩,等.贵州中老年人腰椎QCT骨密度及脊柱脆性骨折的骨密度分析[J].实用医学杂志,2023,39(1):60-65.
- [5]Lee H,Park S,Kwack KS,et al.Ct and mr for bone mineral density and trabecular bone score assessment in osteoporosis evaluation[J].Sci Rep,2023,13(1):16574-16574.
- [6]郭小芳,沈赞,杨倩红.血清Asprosin、MIP-1β、25-(OH)D₃水平与2型糖尿病并发骨质疏松的相关性分析[J].中华保健医学杂志,2024,26(6):773-777.

- [7]王汉,黄友华,符林雄,等.血清β-CTX、Cathe K、OPG对老年OP患者术后骨折再发的预测价值[J].中国骨质疏松杂志,2022,28(2):205-209.
- [8]胡子玉,孙歆,崔超雄,等.血清GLP-1、PINP、SOST水平与甲状腺癌术后骨质疏松的关系[J].分子诊断与治疗杂志,2025,17(4):614-617.
- [9]中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会,章振林.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.
- [10]Madrid A,Lamm C,Aeberli D.Glucoocorticoid-induced osteoporosis; epidemiology,pathogenesis and treatment[J].Ther Umsch,2025,82(1):20-25.
- [11]李振东.骨质疏松性体压缩骨折患者椎体成形术后血脂水平与延迟愈合的关系[J].罕少疾病杂志,2023,30(10):78-80.
- [12]刘鹏飞,连振刚,李逢蒙.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.
- [13]Li G,Xu Z,Li X,et al.Adding marrow r² to proton density fat fraction improves the discrimination of osteopenia and osteoporosis in postmenopausal women assessed with 3d fact sequence[J].Menopause,2021,28(7):800-806.
- [14]Gassert FT,Kufner A,Gassert FG,et al.Mr-based proton density fat fraction (pdf) of the vertebral bone marrow differentiates between patients with and without osteoporotic vertebral fractures[J].Osteoporos Int,2022,33(2):487-496.
- [15]Yuan K,Liu Q,Luo P,et al.Association of proton-density fat fraction with osteoporosis:a systematic review and meta-analysis[J].Osteoporos Int,2024,35(12):2077-2086.
- [16]Leonhardt Y,Gassert FT,Feuerriegel G,et al.Vertebra bone marrow t²* mapping using chemical shift encoding-based water-fat separation in the quantitative analysis of lumbar osteoporosis and osteoporotic fractures[J].Quant Imaging Med Surg,2021,1(8):3715-3725.
- [17]Sollmann N,Kirschke JS,Kronthaler S,et al.Imaging of the osteoporotic spine - quantitative approaches in diagnostics and for the prediction of the individual fracture risk[J].Rofo,2022,194(10):1088-1099.
- [18]江燕,蒋翔宇,汪颖峰.血清IL-6、铁蛋白、25(OH)D₃水平变化与骨质疏松性胸腰椎骨折患者保守治疗后骨折未愈合的关系[J].颈腰痛杂志,2024,45(5):825-830.
- [19]秦华,覃海,宋晓钰,等.血清25羟维生素D、甲状旁腺激素、总I型胶原氨基端延长肽/β-胶原降解产物水平与老年骨质疏松症患者胸腰椎压缩性骨折关系及检测意义[J].陕西医学杂志,2024,53(6):768-772.
- [20]蔡珂,丁薇,童文文,等.骨肿瘤患者β-CTX、PINP和骨钙素变化及临床意义探讨[J].临床和实验医学杂志,2024,23(23):2510-2513.
- [21]孙鹏,张国华,陈超斌,等.血清Irisin、SOST、H2S与膝关节炎合并骨质疏松症患者骨密度、骨代谢标志物的相关性及其预测价值[J].现代生物医学进展,2024,24(10):1980-1984.
- [22]高垒,苗森,张伟,等.R²*、PDFF评估中老年女性腰椎骨髓铁沉积、脂肪含量及对骨质疏松的诊断价值[J].磁共振成像,2025,16(3):90-95.
- [23]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.
- [24]马惠倪,夏晶晶.老年骨质疏松性骨折患者定量CT法骨密度测量值及血清BALP、IGF1、25(OH)D₃水平检测意义[J].中国CT和MRI杂志,2023,21(11):164-166.
- [25]冯燕,李萌,杨建成,等.Gremlin-1、SUA及骨代谢指标表达水平与骨质疏松患者疾病严重程度的相关性及其联合诊断价值分析[J].现代生物医学进展,2024,24(15):2862-2866,2886.

(收稿日期:2025-07-08)

(校对编辑:姚丽娜)