

围绝经期女性椎体及椎旁肌脂肪 IDEAL-IQ 定量研究^{*}

张志诚¹ 陈维¹ 林钱森² 郑朝阳²

(1. 重庆市第九人民医院放射科, 重庆 400700; 2. 福建医科大学附属泉州第一医院放射科, 福建 泉州 362000)

【摘要】 目的 探讨 IDEAL-IQ 技术评估围绝经期女性腰椎椎体骨髓及椎旁肌脂肪含量定量分析价值。**方法** 选取 2017 年 1 月~2019 年 12 月来福建医科大学附属泉州第一医院进行健康体检的围绝经期女性 80 例为研究对象, 进行腰椎 IDEAL-IQ 扫描。根据绝经时间, 将受检者分为未绝经、0 年<绝经时间≤5 年、5 年<绝经时间≤10 年、绝经时间>10 年四组, 每组各 20 人。采用单因素方差分析比较不同分组腰椎椎体脂肪百分比(FF_v)及双侧椎旁肌脂肪百分比(FF_{Lm} 、 FF_{Rm}); 年龄、绝经时间与 FF_v 、 FF_{Lm} 、 FF_{Rm} 值分别进行 Pearson 相关分析。**结果** 不同围绝经期组患者 FF_v 、 FF_{Lm} 、 FF_{Rm} 值比较, 差异均有统计学差异($P<0.05$)。年龄与腰椎 FF_v 、 FF_{Lm} 、 FF_{Rm} 值均呈正相关($r=0.523$ 、 0.767 、 0.775 ; P 均 <0.001); 绝经时间与腰椎 FF_v 、 FF_{Lm} 、 FF_{Rm} 值均呈正相关($r=0.490$ 、 0.742 、 0.741 ; P 均 <0.001)。**结论** IDEAL-IQ 技术可定量评估围绝经期女性腰椎椎体骨髓及椎旁肌脂肪含量, 对揭示绝经时间与椎体骨髓及椎旁肌脂肪含量的关系具有重要的指导价值。

【关键词】 骨髓; 脂肪百分比; 腰椎; 绝经后骨质疏松; 磁共振成像; 围绝经期

【中图分类号】 R445.2; R711.75 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2022.03.029

The application of IDEAL-IQ on the fat content of vertebrae bone marrow and paraspinal muscles in perimenopausal women

ZHANG Zhicheng¹, CHEN Wei¹, LIN Qiansen², ZHENG Chaoyang²

(1. Department of Radiology, The Ninth People's Hospital of Chongqing, Chongqing 400700, China;

2. Department of Radiology, Quanzhou First Hospital Affiliated to Fujian Medical University, Quanzhou 362000, Fujian, China)

【Abstract】 Objective To assess the significance of IDEAL-IQ in quantitative evaluation of lumbar vertebral bone marrow and paraspinal muscle fat compositions in perimenopausal women. **Methods** IDEAL-IQ scans were performed on the lumbar spine in 80 volunteers. According to the time of menopause, the subjects were divided into the four groups: non-menopausal, 0 years<menopausal time≤5 years, 5 years<menopausal time≤10 years, and menopausal time>10 years. One-way analysis of variance was used to compare the lumbar vertebral marrow fat percentage FF_v and bilateral paraspinal muscle fat percentage FF_{Lm} and FF_{Rm} values in different groups. Pearson correlation analysis was performed on age, menopausal time and FF_v , FF_{Lm} and FF_{Rm} values, respectively. **Results** The FF_v , FF_{Lm} and FF_{Rm} values of different perimenopausal groups were statistically different (all $P<0.05$). Age was positively correlated with FF_v , FF_{Lm} and FF_{Rm} values ($r=0.523$, $r=0.767$, $r=0.775$, all $P<0.001$). Menopausal time was positively correlated with FF_v , FF_{Lm} and FF_{Rm} values ($r=0.490$, $r=0.742$, $r=0.741$, all $P<0.001$). **Conclusion** IDEAL-IQ technology can quantitatively assess the fat content of lumbar vertebral bone marrow and paraspinal muscles in perimenopausal women, and has important guiding value in revealing the relationship between menopause time and the fat content of vertebral bone marrow and paraspinal muscles.

【Key words】 Bone marrow; Fat fraction; Lumbar vertebra; Postmenopausal osteoporosis; Magnetic resonance imaging

基金项目:福建省泉州市科技局项目(2016Z034)

通信作者:陈维, E-mail:109791866@qq.com

引用本文:张志诚,陈维,林钱森,等.围绝经期女性椎体及椎旁肌脂肪 IDEAL-IQ 定量研究[J].西部医学,2022,34(3):464-468. DOI:10.3969/j.issn.1672-3511.2022.03.029

女性绝经后骨质疏松症主要是由于卵巢功能减退引起雌激素水平减低,从而导致骨代谢失衡、加速骨量丢失、骨微观结构退化为发病机制^[1],最终导致骨质疏松、脆性骨折等全身性疾病。已有研究发现,骨质疏松患者骨髓脂肪分数显著增加,表明骨髓间充质干细胞向脂肪细胞分化^[2]。椎旁肌在腰椎的功能和结构稳定中起着重要作用,椎旁肌萎缩、脂肪变性等,可增加脊柱失稳、椎体骨折、滑脱及腰间盘病变等疾病的发生风险^[3]。因此,椎体骨髓及椎旁肌脂肪含量的定量研究对椎体骨质疏松的定量、治疗效果评估、早期临床干预及预测椎体脆性骨折等具有重要的指导意义。本文旨在探讨 IDEAL-IQ 技术围绝经期女性腰椎椎体骨髓及椎旁肌脂肪含量定量分析价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2017 年 1 月~2019 年 12 月来福建医科大学附属泉州第一医院进行健康体检的围绝经期女性 80 例为研究对象。纳入标准:①年龄 42~70 岁,平均年龄(53.7±6.3)岁。②腰椎 MRI 图像质量良好者。③受检者及家属知情并签署知情同意书。排除标准:①腰椎急慢性外伤史、脊柱手术或放疗史、严重的脊柱畸形。②腰椎肿瘤、结核及放化疗史。③内分泌及代谢性疾病(严重肝肾疾病、甲状腺疾病、糖尿病等)、肥胖。④服用激素等影响骨代谢的药物。⑤卵巢肿瘤史或卵巢切除史。根据绝经时间,将受检者分为未绝经、0 年<绝经时间≤5 年、5 年<绝经时间≤10 年、绝经时间>10 年四组,每组各 20 人。所有受检者经过医院伦理委员会审核批准。

1.2 检查方法 所有受检者采用 GE Discovery MR 扫描仪行腰椎轴位 IDEAL-IQ 序列扫描,线圈采用全脊柱相控阵线圈,受检者取仰卧位。IDEAL-IQ 序列扫描参数:FOV 30 cm×24 cm,层厚 4 mm,TR 7.0 ms,TE=Min full,矩阵 160×160,翻转角 3°。

1.3 图像处理及分析 腰椎 IDEAL-IQ 图像导入 GE Advantage Windows 4.6 工作站进行三维重建。在腰椎 fat fraction 正中矢状位图像上分别沿椎体边缘勾画 L1~L5 椎体感兴趣区(region of interest, ROI)(图 1A);在 fat fraction 轴位图像上分别勾画所有 L1~L5 椎体中心层面椎旁肌 ROI,勾画多裂肌及竖脊肌外轮廓范围,避开肌肉周围脂肪组织(图 1B);系统自动生成所画区域的脂肪百分比(fat fraction, FF),每个感兴趣区测量 3 次,然后计算取平均值作为最终结果,椎体脂肪百分比用 FF_v表示;左、右侧椎旁肌脂肪百分比分别用 FF_{Lm}、FF_{Rm}表示。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 19.0 软件进行统计学处理,计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。观察

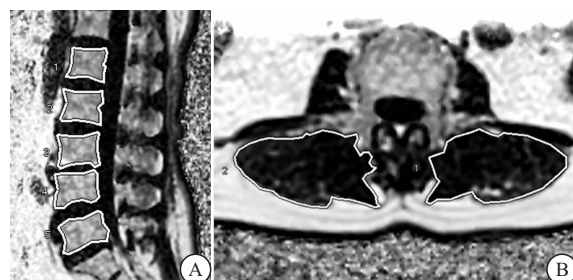


图 1 fat fraction 图感兴趣区勾画方法

Figure 1 Region of interest placement in fat fraction map

注:A.在腰椎 fat fraction 正中矢状位图像上分别沿椎体边缘勾画;B.在腰椎 fat fraction 轴位图像上分别勾画腰椎椎体中心层面椎旁肌轮廓

者间和观察者内的一致性评价采用组内相关系数(Intraclass correlation efficient, ICC)检验,ICC>0.75 认为可重复性较好;采用单因素方差分析(ANOVA)检验分析不同围绝经期分组 FF_v、FF_{Lm}、FF_{Rm}值差异;采用 LSD 检验(方差齐)或 Dunnett's T3 检验(方差不齐)对不同分组及不同椎体水平 FF_v、FF_{Lm}、FF_{Rm}值差异分别进行两两比较;年龄、绝经时间与 FF_v、FF_{Lm}、FF_{Rm}值相关性检验采用 Pearson 相关分析。以 P<0.05 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 各组围绝经期患者腰椎体脂肪百分比 FF_v值比较 共纳入 80 名受检者,其中绝经人数 60 人(75.0%)。腰椎椎体、椎旁肌分别各纳入 400 个进行研究,四个分组每组各 100 个。不同围绝经期分组 FF_v、FF_{Lm}及 FF_{Rm}平均值比较,差异均有统计学意义(P<0.05)(表 1~3)。不同围绝经期分组 FF_v、FF_{Lm}、FF_{Rm}平均值两两比较结果显示,除 0 年<绝经时间≤5 年组与 5 年<绝经时间≤10 年组 FF_v(P=0.886)差异无明显统计学意义外,余各分组间差异均有统计学意义(P<0.05)。未绝经组与 0 年<绝经时间≤5 年组年龄无明显差异(P=0.474)。

2.2 观察者组内和观察者组间一致性评价 腰椎椎体及左、右侧椎旁肌 FF 值在观察者组内和观察者组间 ICC 值均>0.75,表明 FF 值测量可重复性较高,见表 4。

2.3 未绝经、绝经组腰椎正中矢状位及 L3 椎体水平轴位椎旁肌 FF 值比较 经典病例见图 2。

2.4 不同椎体水平 FF_v、FF_{Lm}、FF_{Rm}值两两比较 结果显示,L1、L2 与 L4、L5 椎体水平 FF_v值组间差异均有统计学意义(P<0.05);L1、L2、L3 与 L5 椎体水平及 L1 与 L4 椎体水平 FF_{Lm}值组间差异均有统计学意义(P<0.05);L1、L2 与 L5 椎体水平 FF_{Rm}值组间差异均有统计学意义(P<0.05),见图 3。

表 1 不同围绝经期组腰椎体脂肪百分比 FF_v 值(%) 比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of lumbar body fat FF_v value (%) in different perimenopausal groups

组别	年龄(岁)	数量 (个)	腰椎					平均值
			L1	L2	L3	L4	L5	
未绝经组	47.9±4.4	100	42.1±9.9	40.9±6.0	47.2±8.8	48.9±6.8	46.4±5.3	44.8±7.4 ^①
0 年<绝经时间≤5 年组	49.7±2.8	100	51.8±10.8	53.6±7.8	52.5±4.3	58.3±8.0	62.8±8.2	54.5±9.6 ^①
5 年<绝经时间≤10 年组	55.3±2.0	100	53.2±9.0	55.6±8.0	57.6±8.4	58.6±10.5	54.9±10.9	55.8±9.7 ^①
绝经时间>10 年组	61.7±3.0	100	60.8±8.0	60.1±8.6	59.4±9.3	58.5±8.3	60.8±9.0	59.9±8.6 ^{①②③}
F			13.039	23.118	9.568	6.300	14.617	6.804
P			<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.001	<0.05

注:与未绝经组比较,① $P<0.05$;与 0 年<绝经时间≤5 年组比较,② $P<0.05$;与 5 年<绝经时间≤10 年组比较,③ $P<0.05$

表 2 不同围绝经期组左侧腰椎旁肌脂肪百分比 FF_{Lm} 值(%) 比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of FF_{Lm} value (%) of left lumbar paraspinal muscle fat in different perimenopausal groups

组别	年龄(岁)	数量 (个)	腰椎					平均值
			L1	L2	L3	L4	L5	
未绝经组	47.9±4.4	100	11.1±1.9	11.5±2.3	12.0±1.9	12.8±3.4	14.0±2.5	12.7±2.0
0 年<绝经时间≤5 年组	49.7±2.8	100	15.2±2.4	14.9±2.6	15.8±3.1	16.0±2.7	18.1±3.1	16.4±2.5 ^①
5 年<绝经时间≤10 年组	55.3±2.0	100	17.5±3.6	18.0±2.6	18.6±3.2	19.6±5.1	19.1±2.6	18.5±3.3 ^{①②}
绝经时间>10 年组	61.7±3.0	100	22.5±4.8	22.6±4.9	22.0±6.1	24.0±6.3	25.1±4.4	23.4±5.7 ^{①②③}
F			30.936	42.128	23.529	21.669	39.986	25.145
P			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:与未绝经组比较,① $P<0.05$;与 0 年<绝经时间≤5 年组比较,② $P<0.05$;与 5 年<绝经时间≤10 年组比较,③ $P<0.05$

表 3 不同围绝经期组右腰椎旁肌脂肪百分比 FF_{Rm} 值(%) 比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparison of FF_{Rm} value (%) of right lumbar paraspinal muscle fat in different perimenopausal groups

组别	年龄(岁)	数量 (个)	腰椎					平均值
			L1	L2	L3	L4	L5	
未绝经组	47.9±4.4	100	11.6±2.5	11.6±2.5	12.0±2.8	13.0±3.4	14.2±2.6	12.7±3.1
0 年<绝经时间≤5 年组	49.7±2.8	100	15.2±2.3	14.6±3.2	15.9±2.0	16.9±2.6	17.0±2.9	16.0±2.0 ^①
5 年<绝经时间≤10 年组	55.3±2.0	100	17.5±3.6	18.6±4.3	18.7±4.2	19.6±4.6	20.0±4.5	8.9±4.4 ^{①②}
绝经时间>10 年组	61.7±3.0	100	22.5±4.8	22.6±4.9	23.9±5.6	23.6±5.1	25.3±5.3	23.8±5.0 ^{①②③}
F			35.545	31.070	32.792	24.328	28.679	30.235
P			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:与未绝经组比较,① $P<0.05$;与 0 年<绝经时间≤5 年组比较,② $P<0.05$;与 5 年<绝经时间≤10 年组比较,③ $P<0.05$

表 4 观察者组间及观察者组内测量 FF 值一致性分析
Table 4 Consistency analysis of FF values in intra-observers and inter-observers

参数	ICC (95%CI)	
	观察者组内	观察者组间
FF _v	0.963(0.958,0.978)	0.945(0.913,0.968)
FF _{Lm}	0.917(0.899,0.965)	0.905(0.881,0.938)
FF _{Rm}	0.895(0.871,0.938)	0.898(0.885,0.928)

2.5 年龄、绝经时间与腰椎 FF_v、FF_{Lm}、FF_{Rm} 值相关性分析 Pearson 相关分析显示,年龄与腰椎 FF_v、FF_{Lm}、FF_{Rm} 值均呈正相关($P<0.001$);绝经时间与腰椎 FF_v、FF_{Lm}、FF_{Rm} 值均呈正相关($P<0.001$),见表 5。

表 5 年龄、绝经时间与腰椎 FF_v、FF_{Lm}、FF_{Rm} 值相关性分析
Table 5 Correlation analysis of age, menopausal time and lumbar FF_v, FF_{Lm}, FF_{Rm} values

Pearson 相关分析	年龄			绝经时间		
	FF _v	FF _{Lm}	FF _{Rm}	FF _v	FF _{Lm}	FF _{Rm}
r	0.523	0.767	0.775	0.490	0.742	0.741
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

3 讨论

目前,活体脂肪组织定量 MR 技术主要有氢质子 MR 波谱(¹H-magnetic resonance spectroscopy,¹H-MRS)成像、化学位移成像、Dixon 技术^[4]。MRS 是应用最广且最成熟的 MR 技术,具有较高的准确性和较好的个体间测量一致性,但 MRS 扫描时间长、谱线分析复杂、影响因素较多^[5]。化学位移成像多采用 2D 扰相梯度回波 T1WI 序列,选择不同的回波时间而得到同、反位图像^[6],该技术具有扫描时间短、信噪比高等优点,是评价组织内脂肪沉积的有效方法;但静磁场的不均匀性和 T₂* 效应会影响其脂肪定量评估。

IDEAL 是一种全新的水脂分离成像技术,不同于以往的两点式 and 三点式 DIXON 技术,能够克服静磁场及射频场的不均匀性影响,彻底的将水和脂肪分离开^[7-9]。IDEAL-IQ 技术作为改进的 DIXON 成像,采用小角度激发及非对称采集技术,并用多回波技术重建;另外,IDEAL-IQ 采用区域增长水脂分离技术,从

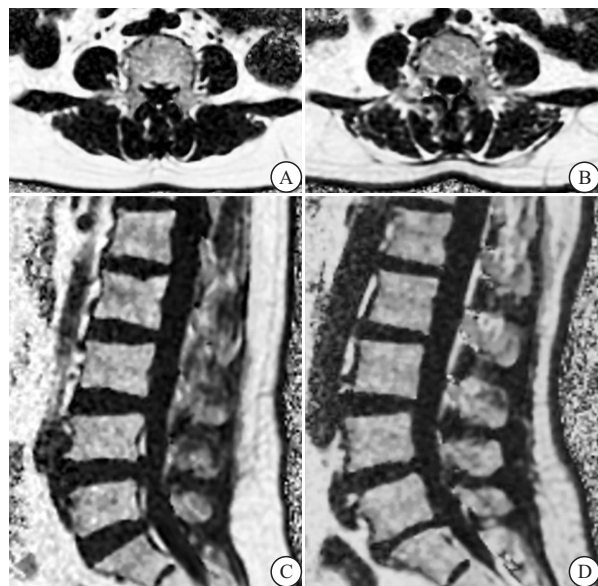


图 2 未绝经与绝经者椎旁肌及腰椎椎体 fat fraction 图

Figure 2 Fat fraction map of paraspinal muscle and lumbar vertebral in premenopausal and menopausal volunteer

注: A、B. 女, 55 岁, 健康志愿者, 未绝经。A. 腰 3 椎体水平椎旁肌 FF 图, 左、右侧椎旁肌 FF 值分别为 7.8%、8.4%; B. 腰椎正中矢状位层面 FF 图, L1-5 椎体平均 FF 值为 50.16%。C、D. 女, 55 岁, 健康志愿者, 绝经 15 年。C. 腰 3 椎体水平椎旁肌 FF 图, 左、右侧椎旁肌 FF 值分别为 15.4%、16.6%; D. 腰椎正中矢状位层面 FF 图, L1-5 椎体平均 FF 值为 63.19%。

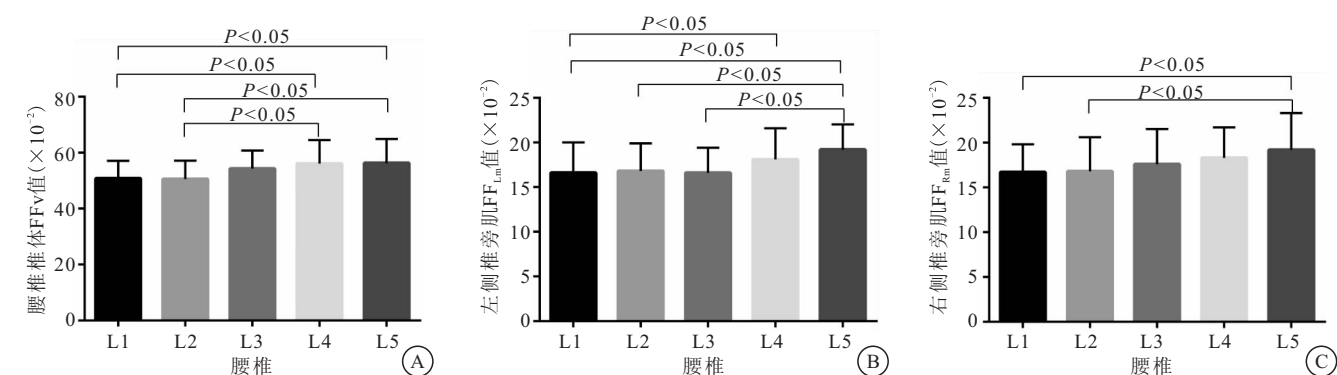


图 3 不同椎体水平 FF 值两两比较

Figure 3 Pairwise comparison of FF value between the five vertebral levels

注: A. 不同椎体水平 FF_v 值比较; B. 不同椎体水平 FF_{lm} 值比较; C. 不同椎体水平 FF_{rm} 值比较

以促进骨的形成, 同时抑制骨的吸收, 从而增加骨强度。李雪峰等^[17]通过大鼠去卵巢原发性骨质疏松模型 MRI 水/脂分离成像定量研究, 发现雌激素缺乏不仅导致骨重建失衡, 而且介导骨髓脂肪组织增多。随着绝经时间增加, 雌激素含量减低。施丹等^[18]基于绝经后女性的腰椎 MRS 及双能 X 线吸收检测分析, 发现椎体骨髓脂肪分数 FF 值与骨密度呈负相关。本研究发现未绝经女性与绝经女性腰椎椎体及椎旁肌脂肪含量 FF 值差异具有明显统计学意义, 与 Sollmann 等^[19]研究结果相符。已有研究发现, 腰椎骨质疏松症

而克服了传统水脂分离技术对主磁场均匀度的高度依赖性, 确保精确量化脂肪含量^[10-11]。IDEAL-IQ 成像是三维容积扫描, 因此克服了 MRS 等的采样误差等缺陷, 且兼具扫描时间短、无须繁琐后处理等优点, 在临床上具有更强的可操作性。IDEAL-IQ 成像一次扫描可产生 6 幅图像, 分别是 fat、water、in-phase、out-phase、R₂* maps 和 fat fraction maps, 其中 fat fraction maps 可以直接计算出感兴趣区的 FF, 以往多用于肝脏和骨髓脂肪定量评价^[12-14]。本研究所得 IDEAL-IQ 的 FF 图像具有较高的分辨率及较高的信噪比, 同时基于其三维容积扫描, 所得图像可进行多方位重组, 有利于不同平面解剖定位。本研究结果显示, IDEAL-IQ 技术对腰椎椎体和椎旁肌 FF 值具有较好的可重复性, 并且可快速成像, 使得该技术作为定量分析工具具有较好的稳定性和有效性。

已有研究发现, 绝经妇女随着绝经时间递增, 体内雌激素含量逐渐减低^[15]。雌激素通过与骨细胞表面的破骨细胞表面雌激素受体、成骨细胞内的雌激素受体结合而发挥不同的调节作用, 前者可促进破骨细胞的凋亡, 后者可促使骨细胞碱性磷酸酶等成骨因子的合成与分泌, 从而促进骨的形成。另外雌激素可抑制成骨细胞和骨细胞的凋亡^[16]。因此, 雌激素不仅可

与椎旁肌肉组织的变化有关^[20]。本研究结果显示腰椎椎体及椎旁肌脂肪含量 FF 值与年龄、绝经时间呈明显正相关, 与 Huang 等^[21]报道一致, 由此推测绝经时间对腰椎椎体骨髓、椎旁肌脂肪浸润具有一定相关性。本研究局限之处在于结果缺乏相应的病理组织对照研究, 因此开展相关动物模型 IDEAL-IQ 基础研究十分必要; 各组样本量偏少, 需进一步扩大样本量研究。

4 结论

IDEAL-IQ 技术作为一种无创性的影像学检测方

式,可定量评估围绝经期女性腰椎椎体骨髓及椎旁肌脂肪含量,对揭示绝经时间与椎体骨髓及椎旁肌脂肪含量的关系具有重要的指导价值。

【参考文献】

- [1] GRIFFITH J F, YEUNG D K, ANTONIO G E, *et al.* Vertebral bone mineral density, marrow perfusion, and fat content in healthy men and men with osteoporosis: dynamic contrast-enhanced MR imaging and MR spectroscopy[J]. *Radiology*, 2005, 236(3): 945-951.
- [2] 范金柱,杨柳,罗卓荆,等. 雌激素对绝经后骨质疏松患者骨髓间充质干细胞 Notch 信号通路的影响[J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2013, 6(3): 232-239.
- [3] COOLEY J R, WALKER B F, M ARDAKANI E, *et al.* Relationships between paraspinal muscle morphology and neurocompressive conditions of the lumbar spine: a systematic review with meta-analysis[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2018, 19(1): 351.
- [4] 林苑,查云飞. MR 定量分析异位脂肪沉积的研究进展[J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51(5): 397-400.
- [5] REEDER S B, CRUITE I, HAMILTON G, *et al.* Quantitative assessment of liver fat with magnetic resonance imaging and spectroscopy[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2011, 34(4): 729-749.
- [6] SOLLMANN N, ZOFFL A, FRANZ D, *et al.* Regional variation in paraspinal muscle composition using chemical shift encoding-based water-fat MRI[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2020, 10(2): 496-507.
- [7] JI Y, HONG W, LIU M, *et al.* Intervertebral disc degeneration associated with vertebral marrow fat, assessed using quantitative magnetic resonance imaging[J]. *Skeletal Radiol*, 2020, 49(11): 1753-1763.
- [8] KRUG R, JOSEPH G B, 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] IDILMAN I S, ANIKTAR H, IDILMAN R, *et al.* Hepatic steatosis: Quantification by proton density fat fraction with MR imaging versus liver biopsy[J]. *Radiology*, 2013, 267(3): 767-775.
- [10] REEDER S B, PINEDA A R, WEN Z, *et al.* Iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least-squares estimation (IDEAL): application with fast spin-echo imaging [J]. *Magn Reson Med*, 2005, 54(3): 636-644.
- [11] ROSTOKER G, LAROUDIE M, BLANC R, *et al.* Histological Scores Validate the Accuracy of Hepatic Iron Load Measured by Signal Intensity Ratio and R2* Relaxometry MRI in Dialysis Patients[J]. *J Clin Med*, 2019, 9(1): 17.
- [12] 张志诚,江才明,陈维,等. 磁共振 IDEAL-IQ 技术在急性胰腺炎诊疗中的应用[J]. *放射学实践*, 2019, 34(6): 686-690.
- [13] JHAVERI K S, KANNENGIESSER S A R, WARD R, *et al.* Prospective evaluation of an R2* method for assessing liver iron concentration (LIC) against FerriScan: Derivation of the calibration curve and characterization of the nature and source of uncertainty in the relationship [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2019, 49(5): 1467-1474.
- [14] TREVINO J H, GORNY K R, GOMEZ-CINTRON A, *et al.* A quantitative alternative to the Goutallier classification system using Lava Flex and Ideal MRI techniques: volumetric intramuscular fatty infiltration of the supraspinatus muscle, a cadaveric study[J]. *MAGMA*, 2019, 32(6): 607-615.
- [15] IMAI Y, YOUN M Y, KONDOH S, *et al.* Estrogens maintain bone mass by regulating expression of genes controlling function and life span in mature osteoclasts[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2009, 1173 (Suppl 1): e31-e39.
- [16] CASTILLO A B, TRIPLETT J W, PAVALKO F M, *et al.* Estrogen receptor-beta regulates mechanical signaling in primary osteoblasts[J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2014, 306(8): e937-e944.
- [17] 李雪峰,李冠武,常时新,等. MRI 水/脂分离技术评价雌激素对骨质疏松骨髓脂肪的作用[J]. *实用放射学杂志*, 2015, 31(3): 480-483.
- [18] 施丹,史晓,王晶晶,等. 绝经后女性骨髓脂肪含量与骨密度的相关性[J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2016, 9(1): 32-36.
- [19] SOLLMANN N, DIECKMEYER M, SCHLAEGER S, *et al.* Associations Between Lumbar Vertebral Bone Marrow and Paraspinal Muscle Fat Compositions-An Investigation by Chemical Shift Encoding-Based Water-Fat MRI [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2018, 9: 563.
- [20] KIM J Y, CHAE S U, KIM G D, *et al.* Changes of paraspinal muscles in postmenopausal osteoporotic spinal compression fractures: magnetic resonance imaging study[J]. *J Bone Metab*, 2013, 20(2): 75-81.
- [21] HUANG C W C, TSENG I J, YANG S W, *et al.* Lumbar muscle volume in postmenopausal women with osteoporotic compression fractures: quantitative measurement using MRI [J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(9): 4999-5006.

(收稿日期:2021-01-18;修回日期:2021-12-08;编辑:刘灵敏)