

· 临床研究 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.04.015

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240204.1103.004\(2024-02-05\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240204.1103.004(2024-02-05))

健康成年女性腰椎骨髓成分对 DWI 骨髓扩散信号强度及 ADC 值的影响^{*}

韩 铮, 胡 亮[△], 潘江峰, 夏秀梅

(金华市中心医院医学影像科, 浙江金华 321000)

[摘要] **目的** 分析健康成年女性腰椎骨髓成分对骨髓扩散加权成像(DWI)表现的影响。**方法** 回顾性分析 103 名成年女性上腹部 MRI 检查内容,根据两点法水脂分离技术测量腰 1 椎体骨髓脂肪分数,根据 DWI 测量腰 1 椎体表现扩散系数(ADC)值,基于 DWI($b=800 \text{ s/mm}^2$)图像,根据腰 1 椎体与邻近竖脊肌信号强度比较将研究对象分为高信号组($n=51$)和等低信号组($n=52$)。分析年龄、腰椎骨髓脂肪分数、月经状况对腰椎骨髓扩散信号强度及 ADC 值的影响。最后分析腰椎骨髓脂肪分数与 ADC 值间的相关性。**结果** 单因素分析表明,健康成年女性腰椎骨髓扩散信号强度及 ADC 值受年龄、腰椎骨髓脂肪分数和月经状况的影响($P<0.001$)。多因素分析表明,年龄($P=0.046$)和腰椎骨髓脂肪分数($P=0.005$)是腰椎骨髓扩散信号强度的影响因素,而月经状态($P=0.242$)不是其影响因素。另外,腰椎骨髓脂肪分数($P<0.001$)是腰椎骨髓 ADC 值的影响因素,两者呈负相关($r=-0.607, P<0.001$),而年龄($P=0.497$)和月经状态($P=0.082$)不是其影响因素。**结论** 健康成年女性腰椎骨髓成分对骨髓扩散信号强度及 ADC 值有明显影响。

[关键词] 腰椎骨髓;扩散加权成像;年龄;脂肪分数;月经状况**[中图法分类号]** R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)04-0555-05

Effect of lumbar bone marrow composition on bone marrow diffusion signal intensity and apparent diffusion coefficient in healthy adult women^{*}

HAN Zheng, HU Liang[△], PAN Jiangfeng, XIA Xiumei

(Department of Medical Imaging, Jinhua Municipal Central Hospital, Jinhua, Zhejiang 321000, China)

[Abstract] **Objective** To analyze the effect of lumbar bone marrow composition on bone marrow diffusion-weighted imaging (DWI) in healthy adult women. **Methods** Retrospective analysis was performed on upper abdominal MRI of 103 adult women. Bone marrow fat fraction of lumbar vertebra was measured according to two-point water-lipid separation technique, and apparent diffusion coefficient (ADC) value of lumbar vertebra was measured according to DWI image ($b=800 \text{ s/mm}^2$). The subjects were divided into the high-signal group and the equal-low-signal group according to the signal intensity of lumbar vertebra and adjacent erector spine muscles. The effects of age, lumbar bone marrow fat fraction and menstrual status on the signal intensity and ADC value of lumbar bone marrow diffusion were analyzed. Finally, the correlation between lumbar bone marrow fat fraction and ADC value was analyzed. **Results** Univariate analysis showed that the lumbar bone marrow diffusion signal intensity and ADC value were affected by age, lumbar bone marrow fat fraction and menstrual status ($P<0.001$). Multivariate analysis showed that age ($P=0.046$) and lumbar bone marrow fat fraction ($P=0.005$) were the influencing factors of lumbar bone marrow diffusion signal intensity, but menstrual status ($P=0.242$) was not the influencing factor. In addition, lumbar bone marrow fat fraction ($P<0.001$) was the factor influencing the ADC value of lumbar bone marrow, and the two were negatively correlated ($r=-0.607, P<0.001$), but age ($P=0.497$) and menstrual status ($P=0.082$) were not the influencing factors. **Conclusion** The bone marrow composition of lumbar vertebrae in healthy adult women has significant effects on the signal intensity and ADC value of bone marrow diffusion.

[Key words] lumbar bone marrow; diffusion-weighted imaging; age; fat fraction; menstrual status

^{*} 基金项目:浙江省金华市科学技术局公益类项目(2021-4-033);金华市中心医院中青年科研启动基金(JY2019-2-14)。 [△] 通信作者, E-mail: paozihu1314@163.com。

扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)通过反映骨髓内水分子扩散情况间接反映骨髓功能状况,目前在骨髓疾病的检出^[1-2]、良恶性椎体骨折鉴别^[3-7]、骨髓瘤治疗疗效评估及预后^[8-9]等方面显示出较高的价值。多项研究表明,在健康成年女性中,腰椎及骨盆骨髓扩散信号强度及表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值随年龄和月经状况的不同而不同^[10-14]。目前,大多数研究推测年龄和月经状况主要通过影响骨髓成分来影响骨髓扩散信号强度及 ADC 值^[10-12,14]。研究腰椎成分对其骨髓扩散信号强度及 ADC 值的影响,可以全面了解骨髓组织的结构和代谢状态,并进一步认识骨髓在生理和病理状态下的变化规律,这对影像诊断及临床治疗方案的制订具有重要意义。然而,关于这两者之间的关系国内外尚未见报道。因此,本研究旨在分析健康成年女性腰椎骨髓成分对腰椎骨髓扩散信号强度及 ADC 值的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究回顾性分析 2021 年 1 月至 2022 年 12 月在本院接受上腹部 MRI 检查的健康成年女性影像学资料。研究对象纳入标准:(1)年龄≥18 岁;(2)腰椎发育正常。排除标准:(1)腰椎骨折、手术及放化疗史;(2)恶性血液系统疾病、肿瘤病史;(3)激素类药物服用史;(4)近 1 个月内感染病史;(5)肝硬化病史;(6)DWI 序列明显伪影,水脂分离序列中出现水脂错配。最终 103 例健康成年女性纳入本研究,年龄 19~82 岁,平均(50.44±13.60)岁。其中,年龄 19~<30 岁 8 例,30~<40 岁 17 例,40~<50 岁 15 例,50~<60 岁有 40 例,60~<70 岁有 15 例,70~82 岁 8 例。本研究通过本院伦理委员会审查批准(批准号

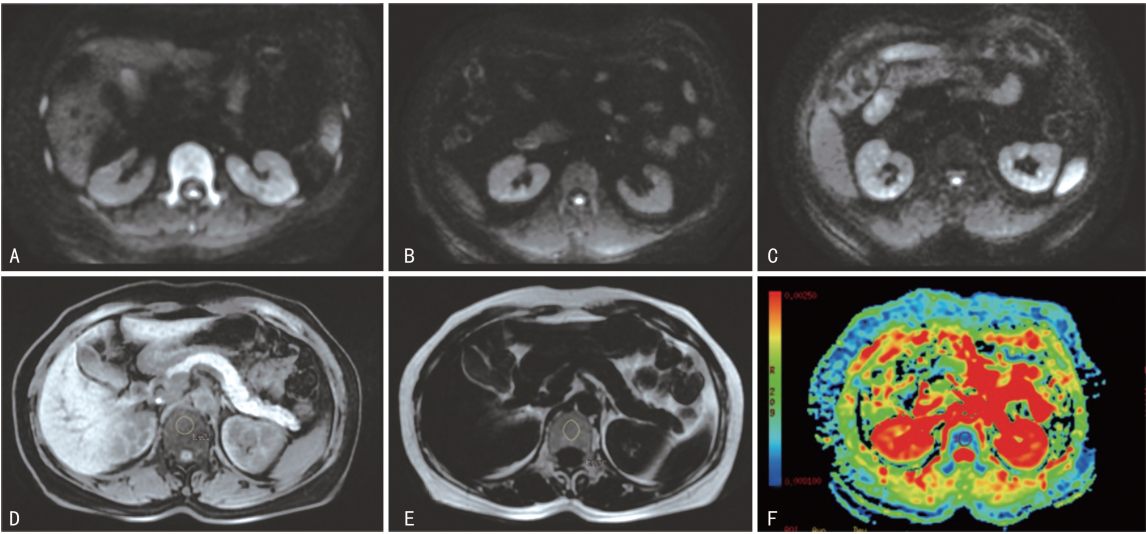
2023650101),并免除检查者知情同意。

1.2 方法

使用 GE 1.5T Optima MR360 扫描仪,采用 8 通道体部线圈及呼吸门控,行上腹部 MR 平扫及 DWI 检查,部分行增强扫描。呼吸触发轴位 DWI(RTr AX DWI),TR=6 600 ms,TE=75 ms,FOV 40.0 cm×40.0 cm,层厚=6 mm,层间距=1.2 mm,矩阵=256×256,NEX=4,b 值取 0 和 800 s/mm²。两点法水脂分离(三维容积内插快速采,LAVA-Flex),TR=5.9 ms,TE=3.1 ms,FOV 42.0 cm×33.6 cm,层厚=6 mm,层间距=-4.5 mm,矩阵=256×192。并自动生成水相、脂肪相、水+脂肪相、水-脂肪相。

1.3 图像分析

在 b=800 s/mm² 图像上,根据腰 1 椎体与邻近竖脊肌信号强度比较将研究对象分为两组:高信号组(腰椎骨髓扩散信号强度明显高于邻近竖脊肌扩散信号强度)和等低信号组(腰椎骨髓扩散信号强度低于邻近竖脊肌扩散信号强度或与之相似)。在 GE ADW4.6 工作站,在腰 1 椎体中间水平位置勾画出类圆形感兴趣区,面积为(150±25)mm²,测量腰 1 椎体骨髓 ADC 值。在明天医网 PACS 系统(版本号 V4.9.0.4804)上,在腰 1 椎体中间水平位置勾画出类圆形感兴趣区,面积为(150±25)mm²,测量腰椎骨髓水相及脂肪相信号强度,计算骨髓脂肪分数,腰椎骨髓脂肪分数=脂肪相信号强度/(水相信号强度+脂肪相信号强度)×100%,见图 1。由两名具有 10 年 MRI 诊断经验的影像医师分别进行上述数据测量及信号分型评价,对两者结果进行一致性分析。最后,以其中一名具有丰富肌骨影像诊断经验医师的结果作为后续研究数据。



A:腰椎骨髓扩散信号强度高于邻近竖脊肌,表现为高信号;B:腰椎骨髓扩散信号强度与邻近竖脊肌相似,表现为等信号;C:腰椎骨髓扩散信号强度低于邻近竖脊肌,表现为低信号;D:水相时腰椎骨髓信号强度测量示意图;E:脂肪相时腰椎骨髓信号强度测量示意图;F:腰椎骨髓 ADC 值测量示意图。

图 1 腰椎骨髓扩散信号强度分型、ADC 值、脂肪分数测量示意图

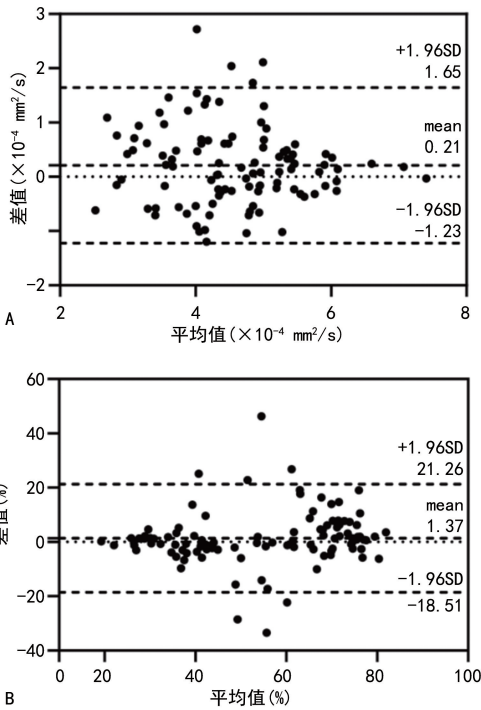
1.4 统计学处理

采用 SPSS21.0 软件进行数据统计分析、Graphpad Prism9 软件进行作图。采用 Shapiro-Wilk 法进行正态分布检验,符合正态分布的计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的计量资料采用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,计数资料采用例数或百分比表示。不同评价者对腰椎骨髓扩散信号强度分型间的一致性用 Kappa 系数,不同评价者对腰椎骨髓脂肪分数及 ADC 值测量的一致性用组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 和 Bland-Altman 图。对于影响腰椎骨髓扩散信号强度高低的因素,先采用二分类 logistic 回归分析进行单因素统计学分析,将 $P < 0.1$ 的因素纳入多因素模型中,进行多因素分析。对于影响腰椎骨髓 ADC 值的因素,先采用多元线性回归分析对单因素进行统计学分析,将 $P < 0.1$ 纳入多因素模型中,进行多因素分析。腰椎骨髓 ADC 值与腰椎骨髓脂肪分数间相关性采用 Spearman 秩相关。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 腰椎骨髓扩散信号强度、ADC 值、脂肪分数测量的重复性

不同评价者腰椎骨髓扩散信号强度分型 Kappa 系数为 0.845 (95%CI: 0.741~0.949),不同评价者腰椎骨髓 ADC 值、脂肪分数 ICC 分别为 0.747 (95%CI: 0.647~0.821)、0.845 (95%CI: 0.780~0.893)。腰椎骨髓 ADC 值、脂肪分数两次测量 Bland-Altman 图见图 2。腰椎骨髓扩散信号强度、ADC 值及脂肪分数测量在不同评价者之间具有良好甚至优秀的一致性。



A: ADC 值; B: 脂肪分数。

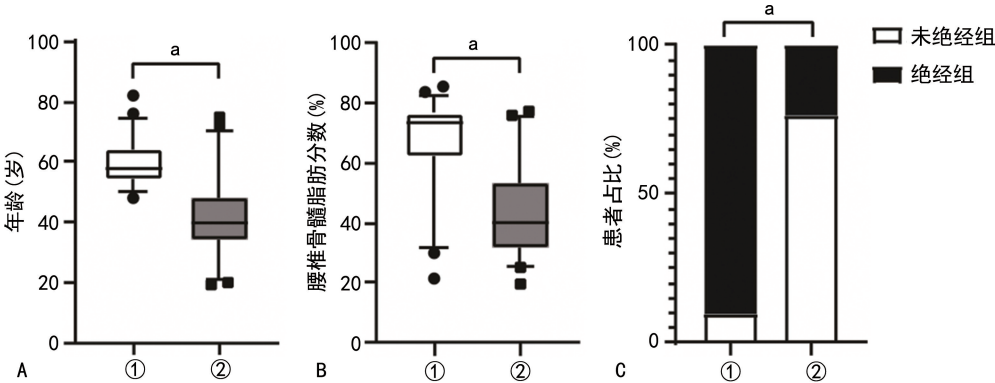
图 2 腰椎骨髓 ADC 值、脂肪分数两次测量 Bland-Altman 图

2.2 腰椎骨髓扩散信号强度的影响因素

单因素分析显示,年龄、腰椎骨髓脂肪分数、月经状况为腰椎骨髓扩散信号强度的影响因素 ($P < 0.001$)。多因素分析显示,年龄 ($P = 0.046$)、腰椎骨髓脂肪分数 ($P = 0.005$) 为腰椎骨髓扩散信号强度影响因素,月经状况 ($P = 0.242$) 不是其影响因素,见表 1、图 3。

表 1 影响腰椎骨髓扩散信号强度的二元 logistic 回归分析结果

项目	单因素分析			多因素分析	
	等低信号组 (n=52)	高信号组 (n=51)	P	OR (95%CI)	P
年龄[M(Q ₁ , Q ₃), 岁]	58.00(54.25, 64.00)	40.00(34.00, 48.00)	<0.001	0.895(0.803~0.998)	0.046
腰椎骨髓脂肪分数[M(Q ₁ , Q ₃), %]	73.10(62.44, 76.64)	40.28(31.97, 53.27)	<0.001	0.953(0.921~0.986)	0.005
月经状况(未绝经/绝经, n)	5/47	39/12	<0.001	2.967(0.481~18.312)	0.242



A: 年龄比较箱线图 (5%~95%); B: 腰椎骨髓脂肪分数比较箱线图 (5%~95%); C: 月经状况比较百分比图; ①: 等低信号组; ②: 高信号组; ^a: $P < 0.001$ 。

图 3 高信号组和等低信号组年龄、腰椎骨髓脂肪分数、月经状况比较

2.3 腰椎骨髓 ADC 值的影响因素

单因素分析显示,年龄、腰椎骨髓脂肪分数、月经状况是腰椎骨髓 ADC 值的影响因素($P<0.001$);多因素分析显示,腰椎骨髓脂肪分数($P<0.001$)是腰椎骨髓 ADC 值的影响因素,年龄($P=0.497$)及月经状况($P=0.082$)并非腰椎骨髓 ADC 值影响因素,成年女性腰椎骨髓脂肪分数与 ADC 值呈负相关($r_s=-0.607, P<0.001$),见表 2,图 4。

项目	单因素分析		多因素分析	
	β	P	β	P
年龄(岁)	-0.526	<0.001	-0.092	0.497
腰椎骨髓脂肪分数(%)	-0.598	<0.001	-0.416	<0.001
月经状况(未绝经/绝经)	0.533	<0.001	0.227	0.082

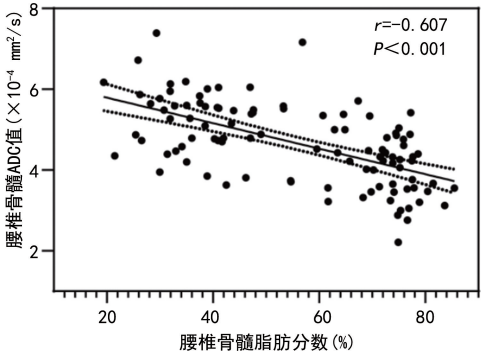


图 4 女性腰椎骨髓脂肪分数与 ADC 值线性相关分析图

3 讨 论

本研究结果显示,在健康女性中,腰椎骨髓脂肪分数对腰椎骨髓扩散信号强度影响明显。此外,有研究发现在 50 岁以前,女性腰椎和骨盆的骨髓扩散表现为高信号,而在 50 岁之后则表现为等低信号^[11-12]。这种现象可能是因为 50 岁前女性腰椎及骨盆内含有较多的红骨髓,而 50 岁之后脂肪含量明显增加,红骨髓转化为黄骨髓。本研究结果显示腰椎骨髓扩散高信号组脂肪分数较等低信号组低,与上述研究相符。黄骨髓的化学成分大约 80% 为脂质、15% 为水、5% 为蛋白,而红骨髓的化学成分大约 50% 为脂质、35% 为水、15% 为蛋白^[15-16]。红骨髓含有更多的水分和血液灌注,因此其扩散信号强度及 ADC 值均高于黄骨髓^[14,17-18]。另外,CUI 等^[14]研究表明腰椎骨髓扩散信号强度与骨髓内水分数相关,骨髓内水分数越高,骨髓扩散信号强度越高,这可能与 T2 穿透效应[指高 T2 信号强度的组织或成分(如水)在 DWI 中保留其高信号]有关。骨髓内水分数与脂肪分数呈负相关,所以本研究中健康成年女性的腰椎骨髓扩散高信号组腰椎骨髓脂肪分数较等低信号组低。本研究显示,女性腰椎骨髓脂肪分数对腰椎骨髓 ADC 值有影响,二者呈现一定的负相关。已有研究发现女性腰椎骨髓 ADC 值与年龄^[10]和骨质密度^[19]呈负相关。随着

年龄增长,腰椎骨髓脂肪含量逐渐增加,骨密度逐渐降低,而 ADC 值逐渐减小,因此腰椎骨髓 ADC 值与腰椎骨髓脂肪分数呈现一定的负相关。本研究单因素分析结果显示,年龄是腰椎骨髓 ADC 值的影响因素,这与之前研究结果一致^[10-13]。然而,多因素分析结果显示,年龄并不是腰椎骨髓 ADC 值的影响因素,作者推测年龄可能是通过影响骨髓成分间接影响腰椎骨髓 ADC 值。

多项研究表明,绝经前的女性腰椎红骨髓含量丰富,骨髓内含有较多的水分及血液灌注^[16,20]。而绝经后的女性雌激素急剧下降,导致腰椎骨髓内脂肪急剧堆积,同时骨水分及血液灌注明显减少^[16]。早期一项研究显示,女性双侧卵巢切除术后 3 个月(相当于人工绝经),腰椎骨量急剧减少 12.5%,骨髓内脂肪含量急剧增加 92%,同时骨髓血液灌注明显减少^[21]。以往研究发现,女性腰椎骨髓扩散信号强度和 ADC 值与月经状况相关。未绝经女性腰椎骨髓扩散信号强度大多呈高信号、骨髓 ADC 值相对较高。而绝经后女性腰椎扩散信号大多呈等低信号,ADC 值相对较低^[10,14]。本研究单因素分析结果与之基本一致,但多因素分析结果显示,月经状态与腰椎骨髓扩散信号强度及 ADC 值不相关。这可能与引入腰椎骨髓脂肪分数有关,月经状况可能主要通过影响腰椎骨髓成分来影响腰椎骨髓扩散信号强度及 ADC 值。

本研究存在以下缺陷:(1)本研究为单中心,入组人群存在选择偏倚;(2)本研究为回顾性研究,仅研究了腰 1 椎体骨髓扩散信号强度及 ADC 值情况,并未测量其他腰椎骨髓情况,其原因是随着年龄增长,其他腰椎退行性改变明显,这可能会影响腰椎骨髓 DWI 表现;(3)本研究使用梯度回波水脂分离技术测量腰椎骨髓脂肪分数,这容易受磁场不均匀性的影响。

总之,本研究发现健康成年女性腰椎骨髓成分对腰椎骨髓扩散信号强度及 ADC 值有明显影响。了解腰椎骨髓 DWI 表现的真正影响因素,对于骨髓 DWI 临床实践具有一定的价值。

参考文献

[1] 何伟欣,宋玲玲,曾琪,等. 表观扩散系数值在膝关节骨挫伤与骨性关节炎骨髓病灶中的应用价值[J]. 实用放射学杂志,2022,38(2):289-292.

[2] FILOGRANA L, MAGARELLI N, CELLINI F, et al. Diffusion weighted imaging (DWI) and apparent diffusion coefficient (ADC) values for detection of malignant vertebral bone marrow lesions[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2018, 22(3):590-597.

[3] SARTORETTI E, SARTORETTI-SCHEFER S, VAN SMOORENBURG L, et al. Single shot zonal oblique multislice SE-EPI diffusion-weighted ima-

- ging with low to ultra-high b-values for the differentiation of benign and malignant vertebral spinal fractures[J]. *Eur J Radiol Open*, 2021, 8:100377.
- [4] SCHMEEL F C, ENKIRCH S J, LUETKENS J A, et al. Diagnostic accuracy of quantitative imaging Biomarkers in the differentiation of benign and malignant vertebral lesions: combination of diffusion-weighted and proton density fat fraction spine MRI[J]. *Clin Neuroradiol*, 2021, 31(4):1059-1070.
- [5] ZHONG X, DONG T, TAN Y, et al. Pelvic insufficiency fracture or bone metastasis after radiotherapy for cervical cancer? The added value of DWI for characterization[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(4):1885-1895.
- [6] ZHONG X, JIANG H, MAI H, et al. Radiation-induced occult insufficiency fracture or bone metastasis after radiotherapy for cervical cancer? The nomogram based on quantitative apparent diffusion coefficients for discrimination[J]. *Cancer Imaging*, 2020, 20(1):76.
- [7] SUH C H, YUN S J, JIN W, et al. ADC as a useful diagnostic tool for differentiating benign and malignant vertebral bone marrow lesions and compression fractures: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(7):2890-2902.
- [8] ZHANG B, BIAN B, ZHAO Z, et al. Correlations between apparent diffusion coefficient values of WB-DWI and clinical parameters in multiple myeloma [J]. *BMC Med Imaging*, 2021, 21(1):98.
- [9] WANG K, LEE E, KENIS S, et al. Application of diffusion-weighted whole-body MRI for response monitoring in multiple myeloma after chemotherapy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(4):2135-2148.
- [10] 庞慧婷, 张晓苗, 董越, 等. 年龄和月经状态对成年女性骨盆骨髓 ADC 值的影响[J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(1):125-128.
- [11] 胡亮, 董越, 程凡容, 等. 健康成人骨盆骨髓扩散加权成像性别、年龄间差异及相关性研究[J]. *临床放射学杂志*, 2016, 35(11):1725-1729.
- [12] CUI F Z, CUI J L, WANG S L, et al. Signal characteristics of normal adult bone marrow in whole-body diffusion-weighted imaging [J]. *Acta Radiol*, 2016, 57(10):1230-1237.
- [13] COLOMBO A, BOMBELLI L, SUMMERS P E, et al. Effects of sex and age on fat fraction, diffusion-weighted image signal intensity and apparent diffusion coefficient in the bone marrow of asymptomatic individuals: a cross-sectional whole-body MRI study[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2021, 11(5):913.
- [14] CUI F Z, YAO Q Q, CUI J L, et al. The signal intensity characteristics of normal bone marrow in diffusion weighted imaging at various menstrual status women[J]. *Eur J Radiol*, 2021, 143:109938.
- [15] HWANG S, PANICEK D M. Magnetic resonance imaging of bone marrow in oncology, Part 1[J]. *Skeletal Radiol*, 2007, 36(10):913-920.
- [16] GRIFFITH J F. Age-related changes in the bone marrow[J]. *Curr Radiol Rep*, 2017, 5(6):24.
- [17] CHEN Y Y, WU C L, SHEN S H. High signal in bone marrow on diffusion-weighted imaging of female pelvis: correlation with anemia and fibroid-associated symptoms[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2018, 48(4):1024-1033.
- [18] ORDING MÜLLER L S, AVENARIUS D, OLSEN O E. High signal in bone marrow at diffusion-weighted imaging with body background suppression (DWIBS) in healthy children[J]. *Pediatr Radiol*, 2011, 41(2):221-226.
- [19] HE J, FANG H, LI X. Vertebral bone marrow fat content in normal adults with varying bone densities at 3T magnetic resonance imaging [J]. *Acta Radiol*, 2019, 60(4):509-515.
- [20] BABENKO V A, SILACHEV D N, DANILINA T I, et al. Age-related changes in bone-marrow mesenchymal stem cells [J]. *Cells*, 2021, 10(6):1273.
- [21] WANG Y X, GRIFFITH J F, DENG M, et al. Rapid increase in marrow fat content and decrease in marrow perfusion in lumbar vertebra following bilateral oophorectomy: an MR imaging-based prospective longitudinal study[J]. *Korean J Radiol*, 2015, 16(1):154-159.

(收稿日期:2023-06-13 修回日期:2024-01-10)

(编辑:姚 雪)