

• 骨骼肌肉影像学 •

髋部肌群及其止点骨髓质子密度脂肪分数的相关性及临床特征分析

王明, 张平, 刘莹, 李军飞, 白琳, 王亚丽, 赵建

【摘要】 目的:采用魔镜(MRI mDIXON-Quant)成像技术,探讨臀肌肌群及髂腰肌脂肪分布情况与其相应止点股骨骨髓质子密度脂肪分数(PDFF)的相关性,并分析各分区 PDFF 值与临床特征的关系。**方法:**招募年龄 20~80 岁受试者,进行左侧股骨近端常规 MRI 及 mDIXON-Quant 成像检查,符合纳入标准者共 576 例。分别测量臀肌肌群、髂腰肌、大转子、小转子及臀肌粗隆的 PDFF 值,观察臀肌肌群及髂腰肌 PDFF 值与其相应止点骨髓 PDFF 值的相关性,评价受试者性别、年龄及 BMI 与不同测量部位 PDFF 值的相关性。**结果:**在评估的肌肉亚区方面,臀大肌、臀中肌、臀小肌和髂腰肌的 PDFF 值分别为 15.35%、10.99%、9.75%、7.79%,臀大肌 PDFF 值要显著大于臀中肌和臀小肌($P<0.05$)。此外,女性受试者臀小肌及髂腰肌的 PDFF 值均显著大于男性受试者(8.47% vs 8.27%、7.93% vs 7.21%, $P<0.05$)。评估的骨髓亚区方面大转子、小转子及臀肌粗隆的 PDFF 值分别为 94.79%、77.60%、73.60%,大转子的 PDFF 值要显著大于小转子和臀肌粗隆($P<0.05$),且男性受试者大转子和小转子的骨髓 PDFF 值均显著大于女性受试者(95.32% vs 94.84%、80.33% vs 76.33%, $P<0.05$)。偏相关分析显示年龄与上述各肌肉和股骨近端各分区骨髓 PDFF 值均呈显著正相关($r=0.433, 0.465, 0.385, 0.212, 0.199, 0.336, 0.183, P<0.05$)。男性受试者中,臀中肌与大转子、臀小肌与大转子、髂腰肌与小转子的 PDFF 值均存在显著相关性($r=0.386, 0.353, 0.202, P<0.05$)。女性受试者中臀中肌与大转子、臀小肌与大转子之间均存在显著相关性($r=0.309, 0.258, P<0.05$)。**结论:**臀肌肌群及髂腰肌脂肪浸润程度与其相应止点股骨骨髓脂肪沉积程度之间存在一定的相关性,肌肉及骨髓脂肪浸润程度与年龄及性别有关。

【关键词】 骨髓; 股骨; 脂肪组织; 磁共振成像

【中图分类号】 R445.2; R322.2; R323.72; R329 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2023)06-0750-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.06.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Assessment of the proton density fat fraction correlation between hip muscles and femoral bone marrow at the corresponding point, and to analyze the clinical characteristics WANG Ming, ZHANG Ping, LIU Ying, et al. Department of CT/MR, the Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, China

【Abstract】 Objective: To explore the relationship between gluteus/iliopsoas muscle fat distribution and bone marrow of corresponding point femoral bone marrow proton density fat fraction, using MRI mDIXON-Quant sequence. The relationship between the PDFF values and clinical characteristics were analyzed. **Methods:** A total of 576 patients met the inclusion criteria underwent conventional MRI and mDIXON-Quant imaging of the left proximal femur. The subjects aged 20 to 80 years. The PDFF values of gluteus muscle groups, iliopsoas muscle, greater trochanter, lesser trochanter and gluteal tuberosity were measured respectively. The correlation of PDFF values between gluteus/iliopsoas muscle and corresponding point bone marrow was observed, and the correlation between gender, age, BMI and PDFF values of different subregions were evaluated. **Results:** In terms of muscle subregions, the PDFF values of gluteus maximus, gluteus medius, gluteus minimus and iliopsoas were 15.35%, 10.99%,

作者单位: 050051 石家庄, 河北医科大学第三医院 CT/MR 室

作者简介: 王明(1988—), 女, 河北衡水人, 在读硕士生, 主管技师, 主要从事骨肌系统磁共振成像工作。

通讯作者: 赵建, E-mail: zhaojiansohu@126.com

基金项目: 2022 年度河北省医学科学研究课题计划(20220129); 2021 年中央引导地方科技发展资金项目(216Z7709G)

9.75% and 7.79% respectively, and the PDFF values of gluteus maximus were significantly higher than those of gluteus medius and gluteus minimus ($P < 0.05$). In addition, the PDFF values of gluteus minimus and iliopsoas muscles in female subjects were significantly higher than those in male subjects (8.47% vs 8.27%, 7.93% vs 7.21%, $P < 0.05$). In terms of bone marrow subregions, the PDFF values of greater trochanter, lesser trochanter and gluteus tuberosity were 94.79%, 77.60% and 73.60%, respectively. The PDFF values of greater trochanter were significantly higher than those of lesser trochanter and gluteus tuberosity ($P < 0.05$). In addition, the PDFF values of greater trochanter and lesser trochanter in male subjects were significantly higher than those of female subjects (95.32% vs 94.84%, 80.33% vs 76.33%, $P < 0.05$). Partial correlation analysis showed that there was a significant positive correlation between age and the PDFF values of muscles and bone marrow as mentioned above, respectively ($r = 0.433, 0.465, 0.385, 0.212, 0.199, 0.336, 0.183, P < 0.05$). In male subjects, significant correlation were found between the PDFF values of gluteus medius and greater trochanter, gluteus minimus and greater trochanter, iliopsoas and lesser trochanter, respectively ($r = 0.386, 0.353, 0.202, P < 0.05$). In female subjects, there were significant correlations between gluteus medius and greater trochanter, gluteus minimus and greater trochanter, respectively ($r = 0.309, 0.258, P < 0.05$).

Conclusion: There is a certain correlation between the degree of fat infiltration in gluteal/iliopsoas muscle and the degree of fat deposition in femoral bone marrow at the corresponding point. The degree of fat infiltration in muscle and bone marrow is related to age and gender.

【Key words】 Bone marrow; Femur; Adipose tissue; Magnetic resonance imaging

肌肉减少症和骨质疏松症在老年人群中的发病率攀升^[1]。探讨肌肉组织和骨髓结构变化之间的联系是临床热点问题。肌肉减少症主要表现为肌肉脂肪浸润的增加及功能的减退,而骨质疏松症主要指单位体积内骨量减少,骨显微结构破坏以及骨脆性增加,研究显示骨质疏松患者骨髓脂肪含量增加,这两种病理状态都与脂肪浸润有一定的关系,都会引起老年人各种运动功能的障碍,进而导致脆性骨折的发生^[2,3]。MRI mDIXON-Quant 成像技术可测量骨骼肌、骨髓、肝脏和其他组织中的质子密度脂肪分数(proton density fat fraction, PDFF)值^[4,5]。研究表明该技术与磁共振波谱成像(magnetic resonance spectroscopy, MRS)序列在测量脂肪含量方面一致性较高且扫描范围较 MRS 序列有显著增大^[6]。髋关节是发病率和死亡率最高的骨折部位,探讨股骨近端肌肉脂肪浸润及其与相应止点骨髓脂肪含量的变化情况的关系,有助于了解肌肉减少及骨髓脂肪含量变化的关系,具有重要的临床意义。学者发现腰椎骨髓脂肪含量与腰背部肌肉脂肪含量可能存在一定关系^[7],据我们所知未发现髋部肌肉及骨质脂肪含量的相关研究。本研究采用 MRI mDIXON-Quant 技术,观测受试者股骨近端肌肉组织脂肪分数与其相应止点骨髓脂肪分数的相关性并评价其与性别、年龄和 BMI 的关系,了解股骨近端肌肉及骨髓脂肪分数变化,为临床肌肉和骨髓脂肪浸润的评价提供影像学依据。

材料与方法

1. 研究对象

前瞻性招募 580 例受试者,对其左侧股骨近端行 MRI 检查。纳入标准:①无髋部症状。②无代谢紊乱性疾病、无神经肌肉性疾病、无髋关节创伤病史、无髋部手术史;③无与髋关节水平平衡失调和/或形态不对称有关的身体状况(如脊柱侧弯、晚期髋关节病);④无一般 MRI 禁忌症。排除标准:图像质量不符合诊断要求,股骨近端 MRI 显示肌肉与骨异常信号者。排除不符合条件者共计 576 名受试者纳入本研究,其中男 310 例,年龄范围 20~80 岁,平均年龄(54.67 ± 13.80)岁, BMI (25.51 ± 3.40) kg/m², 女 266 例,年龄范围 20~80 岁,平均年龄(55.68 ± 13.86)岁, BMI (26.30 ± 3.93) kg/m²(表 1)。本研究经我院伦理委员会批准(W2022-033-1),所有研究对象在检查前均签署知情同意书。

2. 检查方法

搜集受试者身高,体重,用于计算体重指数(BMI),单位 Kg/m²(BMI=体重/身高²)。

图像采集所有图像均使用 3.0T MRI 扫描仪(Philips, Ingenia 3.0T CX)获取,使用体线圈。扫描参数:TR 8.0 ms, TE 1.15 ms, 6 个梯度回波,视野 400 mm×300 mm×180 mm,反转角 3°,体素 2.5 mm×1.5 mm×3.0 mm,敏感因子 2,信号平均次数 1 次,扫描时间 48 s。扫描范围髂嵴至臀肌粗隆下缘。

图像分析扫描结束后,系统自动生成水相、脂肪相、正相位、反相位、 T_2^* 及 $R2^*$, 共 6 组图像。由 2 名高年资 MR 骨肌影像医师在 Philips ISP 后处理工作站对所有受试者的图像进行双盲分析,逐一观察受试者股骨近端并在质子密度脂肪分数图上手动勾画感兴趣区(region of interest, ROI),测量左侧大转子、小转子、臀肌粗隆各部位的 PDFF 值,ROI 面积范围 $45 \sim 55 \text{ mm}^2$,测量时注意避开骨皮质。臀肌肌群、髂腰肌测量时沿肌肉边缘走行手动勾画 ROI,同一层面勾画 2 次取平均值(臀大肌与臀小肌在髂白上缘处测量,髂腰肌与臀中肌在髂前上嵴层面测量,图 1)。

3. SPSS 26.0 统计软件进行统计学分析

采用 Kolmogorov-Smirnov 检验对测量参数进行正态分布检验。年龄和 BMI 用均值 $\pm$ 标准差($\pm$ SD)表示,PDFF 值用中位数和四分位距 $M(IQR)$ 表示。使用 Mann-Whitney U 检验进行不同性别间各参数比较。Kruskal-Wallis 检验用于分别比较臀肌肌群、髂腰肌之间和股骨近端各分区 PDFF 值的差异性。采用 Spearman's 相关分析观察肌肉与相应止点骨髓 PDFF 值之间的相关性。此外,采用偏相关分析年龄和 BMI 与 PDFF 值的相关性。

观察者间和观察者内测量数据的一致性使用组内相关系数(intra-class correlation coefficients, ICC)进

行评价,ICC 大于 0.8 为可靠性较好^[8]。

结 果

1. 一致性检验

两名 MRI 骨肌系统影像医师所测量的臀大肌、臀中肌、臀小肌、髂腰肌、大转子、小转子及臀肌粗隆 PDFF 值的 ICC=0.814~0.990, mDIXON-Quant 技术测量股骨近端肌肉和骨髓 PDFF 值的可重复性高。

2. 不同性别间年龄、BMI 以及股骨近端各肌肉和骨髓 PDFF 值的比较(表 1)。臀肌肌群、髂腰肌以及股骨近端各分区骨髓 PDFF 值之间的比较(表 2,3)。

结果显示在上述肌肉亚区中臀大肌处 PDFF 值最大,15.35%,其中女受试者臀小肌及髂腰肌的 PDFF 值均显著大于男受试者(8.47% vs 8.27%, 7.93% vs 7.21%, $P < 0.05$)。在上述股骨近端骨髓亚区中大转子处的 PDFF 值最大,94.79%,男受试者股骨大转子和小转子的骨髓 PDFF 值均显著大于女受试者(95.32% vs 94.84%, 80.33% vs 76.33%, $P < 0.05$)。女性和男性髋部肌肉及骨髓 PDFF 值比较示例如图 2。

在控制性别和 BMI 后,结果显示年龄与肌肉和骨髓 PDFF 值存在相关性。在控制年龄和性别后, BMI 与肌肉和骨髓 PDFF 值之间均无显著相关性(表 4)。

3. 不同性别间肌肉与其相应止点骨髓 PDFF 值

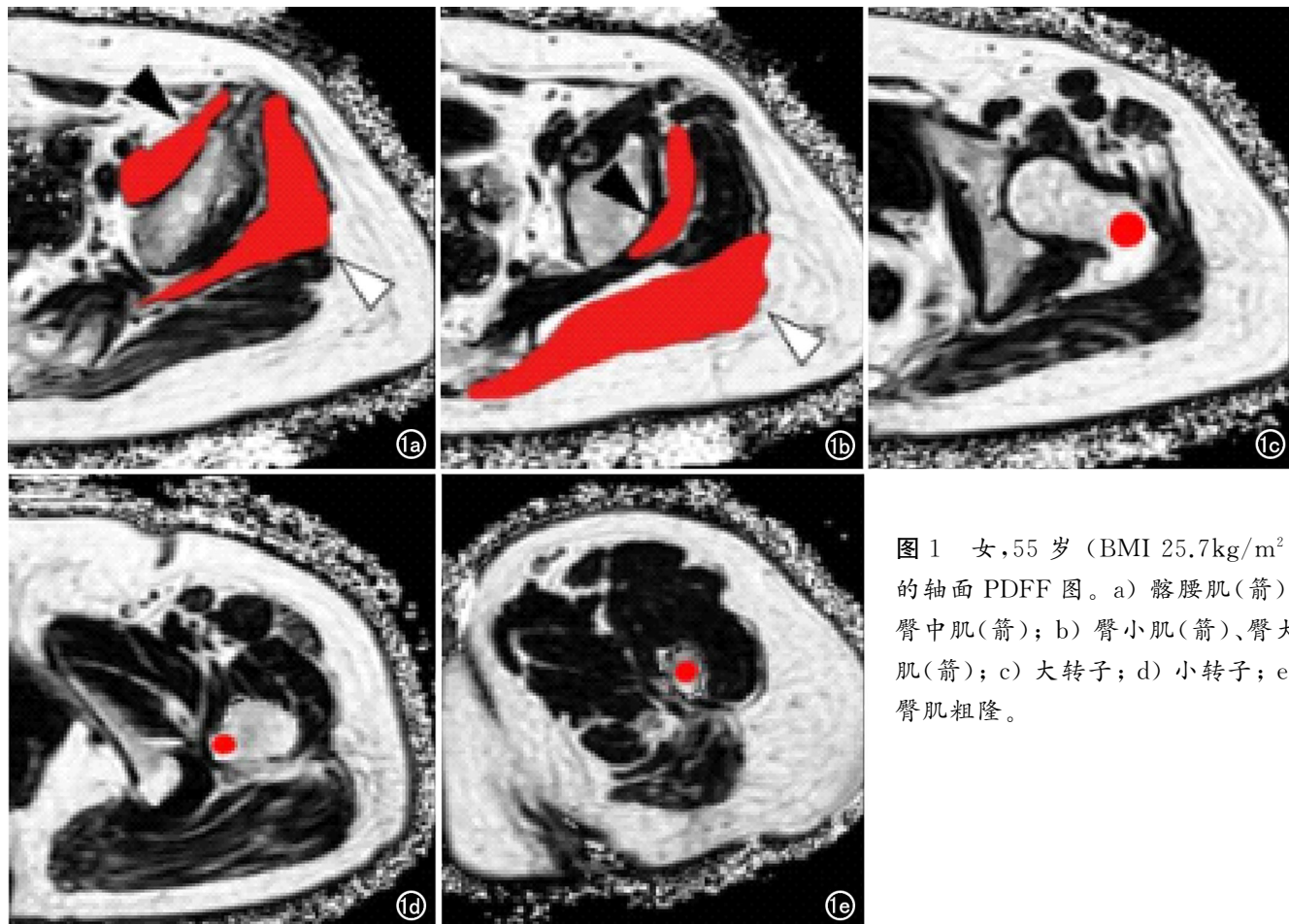


图 1 女,55 岁(BMI 25.7 kg/m^2)的轴面 PDFF 图。a) 髂腰肌(箭)、臀中肌(箭); b) 臀小肌(箭)、臀大肌(箭); c) 大转子; d) 小转子; e) 臀肌粗隆。

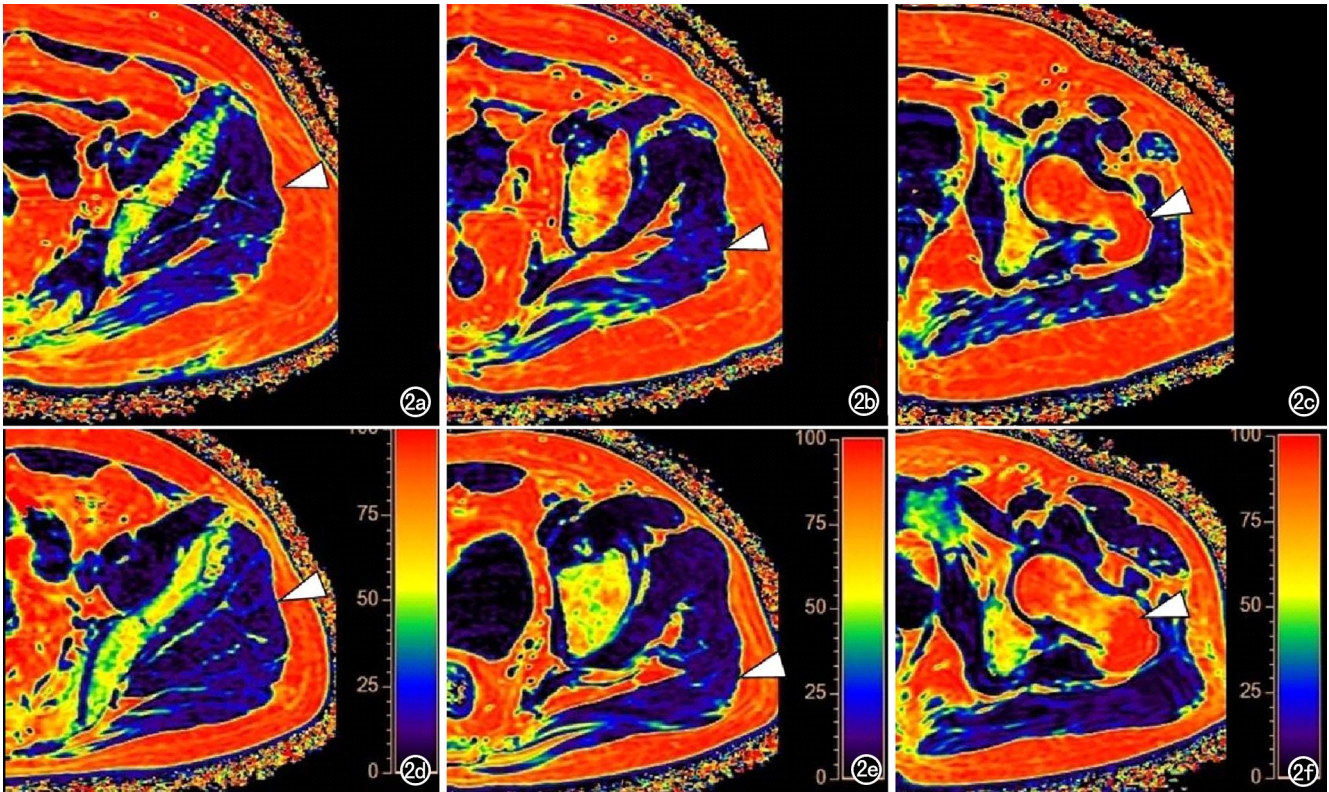


图2 女和男髋部肌肉及骨髓 PDFF 值的比较。女,49 岁。a)臀中肌(箭),PDFF 值(10.19%);b)臀大肌(箭),PDFF 值(13.76%);c)大转子(箭),PDFF 值(95.01%)。男,50 岁。d)臀中肌(箭),PDFF 值(9.21%);e)臀大肌(箭),PDFF 值(13.46%);f)大转子(箭),PDFF 值(95.45%)。

表1 受试者一般资料

参数	Male (n=310)	Female (n=266)	Z	P
Age(years)	54.67±13.80	55.68±13.86	-1.042	0.298
BMI(kg/m ²)	25.51±3.40	26.30±3.93	-1.745	0.081
PDFF 臀大肌(%)	14.51(10.91,17.92)	14.80(11.78,18.86)	-1.359	0.174
PDFF 臀中肌(%)	10.81(8.48,13.39)	11.10(8.45,12.43)	-0.766	0.444
PDFF 臀小肌(%)	8.28(5.73,10.73)	8.47(6.70,11.42)	-2.153	0.031*
PDFF 髂腰肌(%)	7.21(4.78,9.39)	7.93(6.01,10.01)	-3.222	0.001*
PDFF 大转子(%)	95.32(94.15,96.41)	94.84(93.53,95.78)	-4.054	0.000*
PDFF 小转子(%)	80.33(70.34,89.50)	76.33(67.71,86.07)	-2.903	0.004*
PDFF 臀肌粗隆(%)	74.97(64.66,85.61)	73.20(64.70,82.51)	-1.668	0.095

Z 注:年龄和 BMI 用平均值±标准差表示,PDFF 值用中位数和四分位表示,PDFF 即质子密度脂肪分数,*表明有统计学意义(P<0.05)

表2 臀肌肌群与髂腰肌之间 PDFF 值的比较

参数	臀大肌	臀中肌	臀小肌	髂腰肌	P*	P#
PDFF(%)	15.35±5.61	10.99±3.80	9.75±7.09	7.79±4.29	0.000	<0.001

注:* 通过 Kruskal-Wallis H 检验获得的 P 值,P<0.05 说明组间有统计学意义;# 代表 Kruskal-Wallis H 检验的事后两两比较的 P 值,P<0.05 说明差异有统计学意义

表3 股骨近端各分区 PDFF 值的差异性比较

参数	大转子	小转子	臀肌粗隆	P*	P#
PDFF(%)	94.79±2.40	77.60±12.32	73.60±13.55	0.000	<0.001

注:* 通过 Kruskal-Wallis H 检验获得的 P 值,P<0.05 说明组间有统计学意义;# 代表 Kruskal-Wallis H 检验的事后两两比较的 P 值,P<0.05 说明差异有统计学意义

相关性分析(表 5)

各肌肉与其相应止点骨髓的相关性分析结果为男与女受试者中臀中肌-大转子以及臀小肌-大转子之间

的 PDFF 值均具有相关性($r = 0.258 \sim 0.386, P < 0.05$),男受试者的髂腰肌-小转子之间的 PDFF 值具有相关性($r = 0.202, P < 0.05$)。

表 4 年龄、BMI 与各肌肉、骨髓 PDFF 值的偏相关分析

参数	臀大肌	臀中肌	臀小肌	髂腰肌	大转子	小转子	臀肌粗隆
年龄							
<i>r</i>	0.433	0.465	0.384	0.212	0.199	0.336	0.183
<i>P</i>	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
BMI							
<i>r</i>	0.067	0.006	0.009	-0.025	0.011	-0.015	-0.020
<i>P</i>	0.109	0.893	0.836	0.544	0.791	0.718	0.633

注:PDFF;质子密度脂肪分数,BMI:身体质量指数,*表明有统计学意义($P<0.05$)

表 5 不同性别间肌肉与其相应止点骨髓 PDFF 值相关性分析

性别	臀大肌- 臀肌粗隆	臀中肌- 大转子	臀小肌- 大转子	髂腰肌- 小转子
男性				
<i>r</i>	0.052	0.386	0.353	0.202
<i>P</i>	0.358	0.000*	0.000*	0.000*
女性				
<i>r</i>	0.070	0.309	0.258	0.099
<i>P</i>	0.260	0.000*	0.000*	0.106

注:*表明有统计学意义($P<0.05$)

讨 论

本研究我们使用 MRI mDIXON-Quant 技术测量受试者股骨近端肌肉与其相应止点骨髓的 PDFF 值,发现股骨近端臀中肌与大转子、臀小肌与大转子、髂腰肌与小转子的 PDFF 值均存在显著相关性($P<0.05$)。各肌肉以及骨髓亚区的 PDFF 值均与年龄呈显著正相关($P<0.05$)。

年龄、性别与肌肉及骨髓各亚区 PDFF 值的关系。偏相关分析发现随着年龄的增长,股骨近端肌肉和骨髓的 PDFF 值也会增加,这与其他研究的结果相一致,即在人体衰老的过程中肌肉与骨髓的脂肪浸润程度加深,具体表现为相应部位的 PDFF 值的增加^[9]。同时,本研究还观察到性别对肌肉与骨髓各亚区 PDFF 值也存在一定影响,即女受试者肌肉亚区的 PDFF 值要高于男受试者,而骨髓亚区的 PDFF 值却低于男受试者。我们推测此现象可能与女性生理周期的雌激素水平变化有一定关联。研究表明绝经后女性股骨近端的骨髓 PDFF 值要显著高于绝经前女性^[10],说明雌激素水平的变化会对股骨近端骨髓 PDFF 值的变化产生影响,我们推测雌激素可能是通过促进骨髓的“红黄转化”这一机制发挥作用的,即造血功能更强的红骨髓含量的升高可能是导致女受试者骨髓 PDFF 值较男受试者低的一个原因,有待进一步的研究确认^[11,12]。此外,本研究也发现股骨近端不同肌肉间以及骨髓不同分区间 PDFF 值均存在显著差异($P<0.05$)。肌肉亚区中臀大肌的 PDFF 值最高,15.35%,这与 Belzunce 等^[13]研究结论一致,该研究也得出臀大肌 PDFF 值高于其它外展肌,这可能与臀大肌作为髋关节的最有力伸肌,其功能和纤维组成成分与其他臀肌不同,进而导致 PD-

FF 值要高于其它臀肌。股骨近端各亚区的骨髓 PDFF 值也存在显著性差异。Martel 等^[14]研究发现女股骨近端不同亚区间骨髓脂肪含量不同,存在区域性差异,与我们的结果相一致。我们认为这可能与各亚区的脂肪沉积模式存在一定差异有关。

肌肉脂肪分布和骨髓脂肪含量之间的关系。目前分析结果表明在股骨近端,臀中肌-大转子,臀小肌-大转子,髂腰肌-小转子 PDFF 值之间分别存在显著正相关性($P<0.05$)。首先,肌肉与骨骼在空间和功能上存在密切关系,作为运动功能单元共同体,骨骼提供支撑作用,而附于骨表面的肌肉提供运动力学,协助人体的机械运动,同时骨骼肌还能维持人体的平衡,防止跌倒,从而减少骨折风险^[15-17]。Zhang 等^[18]指出强大的肌肉会增加对骨骼的机械刺激,当肌肉收缩时会导致骨骼处于紧张状态,骨细胞在机械受体的作用下,会在骨皮质内外发生骨重塑,从而提高了骨强度。此外,也有表明随着年龄的增长,肌肉质量下降似乎发生在骨量下降之前,这表明通过增加肌肉质量来预防骨质疏松的可能性^[19]。本研究发现臀肌肌群、髂腰肌脂肪浸润与其相应止点骨髓脂肪沉积具有相关性,随着年龄的增长肌肉脂肪浸润增加,其相应止点处骨髓的脂肪含量也增加。Dieckmeyer 等^[20]对健康志愿者大腿和髌部的骨骼肌 PDFF 值进行评估,发现股四头肌 PDFF 值与大转子骨髓 PDFF 值存在相关性,与我们研究结果相一致。研究表明髌关节骨折患者肌内脂肪水平明显增加,骨密度降低,骨髓脂肪含量的增高^[21]。说明无论在正常还是病理状态下,肌肉与骨髓脂肪含量可能具有一致的变化趋势。多数研究表明腰部肌肉与骨髓脂肪成分变化情况也具有类似特征,Sollmann 等^[7]评价绝经后女性椎旁肌和腰椎 PDFF 值之间的关系,得出绝经后女性骨髓与局部肌肉之间存在显著相关性。Zhao 等^[22]评估了女和男椎旁肌和腰椎 PDFF 值之间的关系,并观察到骨密度正常的患者与骨质减少和骨质疏松的患者相比,椎旁肌的 PDFF 值较低。上述研究表明肌肉脂肪浸润的增加可能会导致肌肉质量和力量薄弱,从而导致对相应附着处骨骼刺激的减少,引起骨量的降低,进而导致骨质疏松的发生,而与骨髓内骨细胞同源的脂肪细胞相应增多,具体表现为

PDFF 值的增大。

综上所述,使用 mDIXON-Quant 技术能够定量测量股骨近端臀肌肌群、髂腰肌及相应止点骨髓 PDFF 值,并且两者存在显著相关性,提示肌肉与其止点骨髓脂肪沉积可能具有相同的趋势,为临床肌肉脂肪浸润及骨髓脂肪浸润的评价提供影像学依据,为临床骨质疏松的预防提供新见解。

参考文献:

- [1] 李新彤,王玲,王晨,等.定量 CT 研究成年女性腰部椎后肌群体质成分与腰椎骨密度的相关性[J].中国骨质疏松杂志,2018,24(3):301-304,357.
- [2] Hamrick MW, McGee-Lawrence ME, Frechette DM. Fatty infiltration of skeletal muscle: mechanisms and comparisons with bone marrow adiposity[J]. *Frontiers in Endocrinology*, 2016, 7(1): 69.
- [3] He H, Liu Y, Tian Q, et al. Relationship of sarcopenia and body composition with osteoporosis[J]. *Osteoporosis International: a J Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 2016, 27(2): 473-482.
- [4] Idilman IS, Yildiz AE, Karaosmanoglu AD, et al. Proton density fat fraction: magnetic resonance imaging applications beyond the liver[J]. *Diagnostic and Interventional Radiology (Ankara, Turkey)*, 2022, 28(1): 83-91.
- [5] 张嘉,李聘,李振辉,等.MR 多回波 Dixon 脂肪定量技术在脊柱病变的应用和展望[J].放射学实践,2020,35(8):1077-1080.
- [6] 翟树佳,马景旭,赵丽萍,等.mDIXON 及氢质子磁共振波谱在原发性骨质疏松症的应用[J].实用放射学杂志,2018,34(10):1576-1579.
- [7] 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(1): 563.
- [8] Wang F, Zhang Y, Xue H, et al. Combined use of iterative reconstruction and monochromatic imaging in spinal fusion CT images[J]. *Acta Radiol*, 2017, 58(1): 62-69.
- [9] Crawford RJ, Filli L, Elliott JM, et al. Age- and level-dependence of fatty infiltration in lumbar paravertebral muscles of healthy volunteers[J]. *AJNR American J Neuroradiology*, 2016, 37(4): 742-748.
- [10] Aoki T, Yamaguchi S, Kinoshita S, et al. Quantification of bone marrow fat content using iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least-squares estimation (IDEAL): reproducibility, site variation and correlation with age and menopause[J]. *Br J Radiol*, 2016, 89(1065): 20150538.
- [11] 张鑫涛,赵银霞,李勉文,等.腰椎骨髓脂肪含量评估骨质疏松及其影响因素多元线性回归分析[J].实用放射学杂志,2021,37(1):102-106.
- [12] 宁秋萍,范铁兵,于晓晶,等.正常人群髋髂关节脂肪含量的初步定量分析[J].放射学实践,2020,35(7):909-913.
- [13] Belzunce MA, Henckel J, Fotiadou A, et al. Automated measurement of fat infiltration in the hip abductors from Dixon magnetic resonance imaging[J]. *Magnetic Resonance Imaging*, 2020, 72(1): 61-70.
- [14] Martel D, Leporq B, Bruno M, et al. Chemical shift-encoded MRI for assessment of bone marrow adipose tissue fat composition: pilot study in premenopausal versus postmenopausal women[J]. *Magnetic Resonance Imaging*, 2018, 53(1): 148-155.
- [15] 张雪丽,陈明月,唐睿,等.定量 CT 研究成年女性腰椎骨密度与椎旁体质成分的相关性[J].中国骨质疏松杂志,2021,27(11):1566-1571.
- [16] Tagliaferri C, Wittrant Y, Davicco MJ, et al. Muscle and bone, two interconnected tissues[J]. *Ageing Research Reviews*, 2015, 21(1): 55-70.
- [17] Cariati I, Bonanni R, Onorato F, et al. Role of physical activity in bone-muscle crosstalk: biological aspects and clinical implications[J]. *J Functional Morphology and Kinesiology*, 2021, 6(2): 55.
- [18] Zhang X, Hua T, Zhu J, et al. Body compositions differently contribute to BMD in different age and gender: a pilot study by QCT[J]. *Archives of Osteoporosis*, 2019, 14(1): 31.
- [19] Herrmann M, Engelke K, Ebert R, et al. Interactions between muscle and bone-where physics meets biology[J]. *Biomolecules*, 2020, 10(3): 432.
- [20] Dieckmeyer M, Zoffl F, Grundl L, et al. Association of quadriceps muscle, gluteal muscle, and femoral bone marrow composition using chemical shift encoding-based water-fat MRI: a preliminary study in healthy young volunteers[J]. *Eur Radiology Experimental*, 2020, 4(1): 35.
- [21] Hahn MH, Won YY. Bone mineral density and fatty degeneration of thigh muscles measured by computed tomography in hip fracture patients[J]. *J Bone Metabolism*, 2016, 23(4): 215-221.
- [22] Zhao Y, Huang M, Serrano Sosa M, et al. Fatty infiltration of paraspinal muscles is associated with bone mineral density of the lumbar spine[J]. *Archives of Osteoporosis*, 2019, 14(1): 99.

(收稿日期:2022-07-06 修回日期:2022-10-13)