DOI:10.16016/j.2097-0927.202204024

磁共振 Dixon-VIBE 及 MRS 序列评估多裂肌脂肪化程度及其与腰背肌等速力量的相关性研究

陈 灿[1],张承旻[1],杨 森[1,2],喻学科[1],陈春华[1],李 凯[1],戴 威[1],胡晨波[1],薛 浩[1],魏小雨[1],陈品珍[3],赵 骏[3],罗 飞[1] 400038 重庆,陆军军医大学(第三军医大学)第一附属医院:骨科[1],放射科[3];453000 河南 新乡,中国人民解放军陆军第八十三集团军医院骨科[2]

[**摘要**] **目的** 探究磁共振水脂分离技术(Dixon-VIBE)及磁共振单体素波谱技术(magnetic resonance spectroscopy,MRS)对多裂肌脂肪分数的评估作用及其与腰背肌等速力量检测结果的拟合程度。**方法** 选择 2020-2021 年于陆军军医大学第一附属医院门诊公开招募的 38 例中老年受试者作为研究对象,受试者均行磁共振 Dixon-VIBE、MRS 序列扫描及腰背肌等速肌肉功能评估,等速肌肉功能测试参数包括峰力矩(peak torque,PT)、屈伸比(flexion/extension,F/E)和耐力比(endurance ratio,ER),比较两个序列多裂肌脂肪分数(fat fraction,FF)及不同加权计算方法与腰背肌等速肌肉功能评估结果的拟合程度。**结果** Dixon-VIBE 序列中多裂肌 FF 与 F/E 呈正相关($r=0.350$,$P<0.05$),经身高、体质量、体质量指数(BMI)加权修正后与 F/E 呈正相关($r=0.371$、0.382、0.338,$P<0.05$);Dixon-VIBE 及 MRS 序列中多裂肌 FF(含修正后)与 PT、ER 未发现明显的相关性,MRS 序列中多裂肌 FF(含修正后)与 F/E 相关性不明显。**结论** 磁共振 Dixon-VIBE 序列中多裂肌 FF 与腰背肌等速肌肉功能评估的 F/E 具有相关性,经体质量加权计算后可进一步提升相关程度。

[**关键词**] 磁共振水脂分离技术;磁共振单体素波谱技术;多裂肌;脂肪分数;等速肌肉功能
[**中图法分类号**] R194.3; R337; R445.2 [**文献标志码**] A

Evaluation of fat fraction of multifidus muscle with Dixon-VIBE and magnetic resonance spectroscopy and its correlation with isokinetic strength of lumbar and dorsal muscles

CHEN Can[1], ZHANG Chengmin[1], YANG Sen[1,2], YU Xueke[1], CHEN Chunhua[1], LI Kai[1], DAI Wei[1], HU Chenbo[1], XUE Hao[1], WEI Xiaoyu[1], CHEN Pinzhen[3], ZHAO Jun[3], LUO Fei[1] [1]Department of Orthopedics, [3]Department of Radiology, First Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, 400038; [2]Department of Orthopedics, Hospital of the 83rd Army Group, Xinxiang, Henan Province, 453000, China

[**Abstract**] **Objective** To explore the evaluation effectiveness of MRI Dixon-VIBE and magnetic resonance spectroscopy (MRS) on the fat fraction of multifidus muscle, and to investigate its fitting degree to isokinetic strength detection of lumbodorsal muscles. **Methods** A total of 38 middle-aged and elderly subjects were publicly recruited from the outpatient department of the First Affiliated Hospital of Army Medical University between 2020 and 2021. All the subjects underwent MRI Dixon-VIBE sequence and MRS sequence scanning, and received isokinetic muscle function evaluation of lumbar and dorsal muscles, whose parameters included peak torque (PT), flexion/extension (F/E) and endurance ratio (ER). The fat fraction (FF) of multifidus muscle measured by the 2 sequences was compared, and the fitting degree between the multifidus FF and the isokinetic muscle function of lumbodorsal muscles was analyzed after weighted correction.

[**基金项目**] 军队后勤科研重大项目(AWS17J004);重庆市技术创新与应用发展专项面上项目(cstc2019jscx-msxmX0221)
[**通信作者**] 罗 飞,E-mail:luofeispine@126.com

2097-0927/Copyright © 2022, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Results In Dixon-VIBE sequence, there was a positive correlation between multifidus FF and F/E ($r=0.350$, $P<0.05$), and after weighted correction of height, weight and body mass index (BMI), FF was still positively correlated with F/E ($r=0.371$, 0.382, 0.338, $P<0.05$). While in MRS sequences, no significant correlation was observed between multifidus FF (including corrected) and F/E. In addition, there was no notable correlation of multifidus FF (including corrected) with PT and ER in both Dixon-VIBE and MRS sequences. **Conclusion** The multifidus FF measured by Dixon-VIBE sequence is correlated with the F/E of isokinetic muscle function of lumbodorsal muscles, and the correlation is further improved after weighted calculation by body weight.

[**Key words**] magnetic resonance Dixon-VIBE; magnetic resonance spectroscopy; multifidus muscle; fat fraction; isokinetic muscle function

Supported by the Major Project of Military Logistic Scientific Research (AWS17J004) and the Special General Project of Technological Innovation and Application Development in Chongqing (cstc2019jscx-msxmX0221). Corresponding author: LUO Fei, E-mail: luofeispine@126.com

腰背肌作为维持正常体态、脊柱动态稳定及实现屈伸运动功能的主要核心肌群[1],其功能障碍与脊柱退行性疾病的发生、发展关系密切,也是引发下腰痛等症状的主要原因。因此,准确客观评估腰背肌功能状况对于脊柱相关疾病的病情评估、治疗方式决策、预后预测以及探索脊柱退行性疾病的发病机制都具有重要意义。

等速肌肉功能测试是目前公认的肌肉功能评估的“金标准”,但所需的检测设备存在价格昂贵、占地面积大、技术要求高、人力消耗大、患者配合程度差等系列问题[2-3]。近年来,磁共振成像作为评估肌肉功能的新型非侵入性影像检查技术,逐渐成为国内外关注的热点。其中,磁共振水脂分离序列(Dixon-VIBE)及磁共振单体素波谱序列(magnetic resonance spectroscopy, MRS)在定量评估脂肪含量方面优于传统磁共振检查序列,由于两者的成像原理不同亦各有优劣。本研究以腰背肌等速肌肉功能评估作为“金标准”,对比磁共振 Dixon-VIBE、MRS 序列及多种加权算法评估多裂肌脂肪化程度与腰背肌等速肌肉功能的拟合程度,为满足因疼痛、疾病、设备等原因无法进行腰背肌等速肌肉功能检测的患者评估腰背肌功能的临床实际需求探索新的技术方法。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择 2020-2021 年于陆军军医大学第一附属医院公开招募的 38 名中老年志愿者作为研究对象。本研究经陆军军医大学第一附属医院伦理委员会批准(KY2020235)和前瞻性临床研究注册(注册号:ChiCTR1800019459)。纳入标准:年龄≥45 岁。排除标准:①先天性脊柱疾病、强直性脊柱炎、脊柱肿瘤、脊柱结核、脊柱感染等脊柱疾患;②近 2 年内有脊柱手术史;③近 1 年内有新发的外伤性或骨质疏松性脊柱压缩骨折病史;④严重的骨盆、髋膝关节、下肢病变及其他严重系统疾病者;⑤体内任何地方有金属植入物而无法接受核磁共振检查的患者;⑥当前有明显腰背痛影响等速力量测试或等速测试时疼痛加剧的患者;⑦过去 3 个月内进行过腰背部小针刀、针灸或腰背肌系统力量训练的患者。

1.2 磁共振 Dixon-VIBE 序列及 MRS 序列扫描方法

受试者均行高分辨 3.0 T 超导 MRI(Siemens, TrioTim, Erlangen, Germany)腰椎 Dixon-VIBE 序列及 MRS 序列扫描检查。Dixon-VIBE 扫描参数:TR 9.05 ms, TE 1.23/2.48/3.37/4.98/6.23/7.48 ms,视野 FOV 328×420,矩阵 Matrix size 256×256,层厚 3 mm。MRS 扫描参数:TR 2 000 ms,TE 135 ms,视野 FOV 150×150,层厚 30 mm(表 1)。

MRS 序列图像后处理:在 Siemens 后处理工作站(Syngo, Siemens Healthcare, Erlangen, Germany)上进行,先行波谱基线校正,分别测定 L4/5 层面的脂肪峰度值及水峰度值,通过获得的脂肪波峰下面积、水波峰下面积计算脂肪分数(fat fraction,FF)。FF=脂肪波峰下面积/(脂肪波峰下面积+水波峰下面积)[4-5]。

Dixon-VIBE 序列图像后处理:将横断位图像传入 Siemens 后处理工作站(Syngo, Siemens Healthcare, Erlangen, Germany),定位 L4/5 椎间盘中心层面,勾画 L4/5 椎间盘中心层面多裂肌感兴趣区域,勾画肌肉轮廓时应避开肌肉周围脂肪组织。然后系统自动生成所画区域的脂肪信号强度、水信号强度。通过脂肪信号及水信号强度计算脂肪分数:FF=脂肪信号强度/(脂肪信号强度+水信号强度)[6-7]。

图像后处理由 1 名具有 3 年以上工作经验的放射科医师进行。

表 1　磁共振 Dixon-VIBE 序列及 MRS 序列扫描参数

项目	重复时间/ms	回波时间/ms	视野/mm	层厚/mm	矩阵	采集时间/s
Dixon-VIBE	9.05	1.23/2.48/3.37/4.98/6.23/7.48	328×420	3	256×256	44
MRS	2 000	135	150×150	30	–	177

1.3　腰背肌等速肌力及耐力测试

测试方法:①依托本院康复科 IsoMed-2000 等速测试系统(D&R Technology GmbH,德国法兰克福)进行测试,角速度可调范围为 2~500 °/s,最大扭力矩 500 N·m,测试模式选择向心收缩模式。②由专业技术人员指导协助受试者调整至合适测试体位(屈髋屈膝 90°),固定下肢及胸腰部,指导受试者抓握测试手柄[8]。③测试动作共包括 2 组,第 1 组在中速(60°/s)下连续做 5 次最大俯屈伸展向心收缩运动,第 2 组在高速(120 °/s)下做最大俯屈伸展向心收缩运动 20 次,组间休息 2 min,尽可能减少疲劳对测量结果的影响[9]。④设置躯干活动范围为 40°(+20°屈曲,-20°背伸),起始位置为 0°端坐位(图 1)。⑤测试开始前先进行 3 次亚极量热身运动,测试过程中由研究人员不断语言激励受试者,使受试者始终维持最大做功。测试完毕后,由系统导出等速测试图文报告,记录腰背伸肌运动相关指标(图 2)。耐力比(endurance ratio,ER)代表肌肉重复收缩时耐受疲劳的能力[10],常用最后 6 次肌肉平均力矩与最初 6 次肌肉平均力矩之比来表示。

评价指标:腰背伸肌群峰力矩(peak torque,PT)、屈伸比(flexion/extension,F/E)和耐力比(endurance ratio,ER)。



A:前屈 20°;B:中立位 0°;C:后伸 20°

图 1　等速肌肉功能测试(−20°~20°)

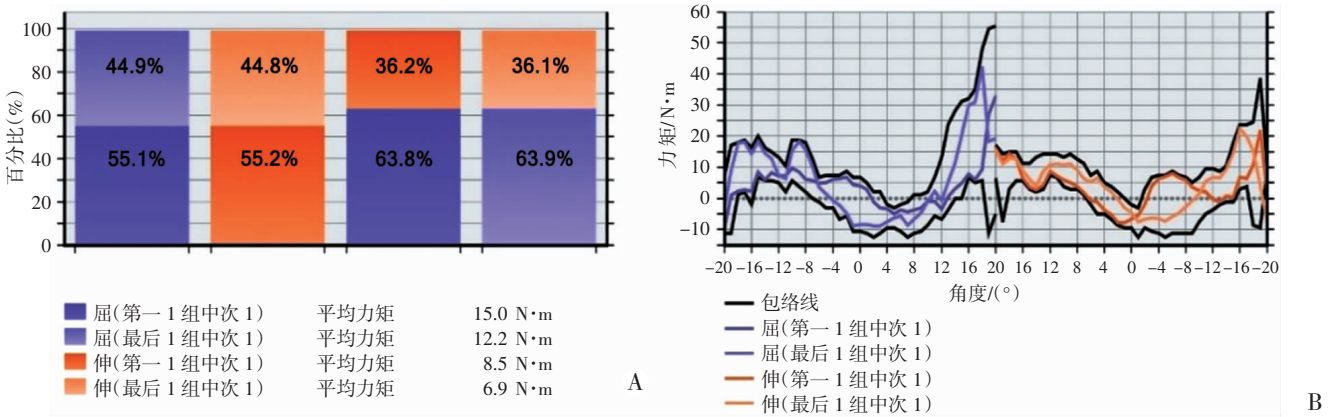


图 2　等速肌肉功能测试整个模块的疲劳率(A)及整个模块疲劳(B)情况

1.4 统计学分析

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析,连续变量数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示。多裂肌磁共振 Dixon-VIBE 及 MRS 序列中影像学退变情况与等速肌肉功能之间的相关性采用 Pearson 相关分析。以双侧检验 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料及等速肌肉功能情况

本研究共纳入 38 例受试者,其中男性 6 例,女性 32 例;年龄(62.3±6.3)岁,坐高(83.1±3.6)cm,身高(152.9±6.7)cm,体质量为(56.4±7.4)kg,体质量指数(BMI)为(24.1±2.4)kg/m^2,腰背伸肌 PT 为(78.5±37.0)N·m,F/E 为(1.2±0.6),ER 为(1.0±0.2)。

2.2 多裂肌磁共振 Dixon-VIBE 及 MRS 序列影像学退变定量分析比较

Dixon-VIBE 及 MRS 序列所测双侧多裂 FF 以及经年龄、身高、体质量、BMI 修正之后的 FF 见表 2;Dixon-VIBE 与 MRS 序列各退变指标存在高度相关性,其中 Dixon-VIBE 序列 FF/BW 与 MRS 序列 FF/BW 相关性最高($r=0.790$,$P<0.01$),见表 3。

2.3 多裂肌磁共振 Dixon-VIBE 及 MRS 序列影像学退变指标与等速肌肉功能的相关性分析

Dixon-VIBE 序列中多裂肌 FF 与 F/E 呈弱正相关($r=0.350$,$P<0.05$),经身高、体质量、BMI 修正之后与 F/E 呈弱正相关($r=0.371$、0.382、0.338,$P<0.05$);Dixon-VIBE 及 MRS 序列中多裂肌 FF(含修正后)与 PT、ER 未发现明显相关性,MRS 序列中多裂肌 FF(含修正后)与 F/E 未发现明显相关性,见表 4。

3 讨论

随着全球人口老龄化的进展,脊柱退行性疾病在老年人群中的发病率呈现逐年上升趋势。腰背肌作为脊柱后方维持躯干平衡的重要力学元件,其功能状态与脊柱退行性疾病的发生、发展关系密切[11-12]。因此,准确客观评估腰背肌功能状况,对探索脊柱退行性改变的自然规律、脊柱退行性疾病的发病机制及防治措施具有重要意义。

当前,腰背肌的评价方法主要集中在以力量、耐力为评价指标的理学检查及以肌肉横截面积、脂肪浸润程度为代表的影像学两个方面[13]。虽然评价方法形式多样,但缺乏统一标准。在腰背肌功能理学检查方

表 2 38 例受试者磁共振 Dixon-VIBE 及 MRS 序列影像学退变情况($\bar{x}\pm s$)

序列	FF(%)	FF/Age(%/岁)	FF/BH(%/cm)	FF/BW(%/kg)	FF/BMI(%·m^2/kg)
Dixon-VIBE	28.3±9.2	0.5±0.1	0.2±0.1	0.5±0.2	1.2±0.4
MRS	60.7±11.9	1.0±0.2	0.4±0.1	1.1±0.3	2.6±0.6

FF:脂肪分数;Age:年龄;BH:身高;BW:体质量;BMI:体质量指数

表 3 38 例受试者磁共振 Dixon-VIBE 及 MRS 序列影像学退变指标的相关性

MRS	Dixon-VIBE				
	FF	FF/Age	FF/BH	FF/BW	FF/BMI
FF	0.678[a]	–	–	–	–
FF/Age	–	0.628[a]	–	–	–
FF/BH	–	–	0.712[a]	–	–
FF/BW	–	–	–	0.790[a]	–
FF/BMI	–	–	–	–	0.747[a]

a:$P<0.01$;FF:脂肪分数;Age:年龄;BH:身高;BW:体质量;BMI:体质量指数

表 4 38 例受试者腰背肌影像学退变指标与等速肌肉功能的相关性分析

指标	Dixon-VIBE					MRS				
	FF	FF/Age	FF/BH	FF/BW	FF/BMI	FF	FF/Age	FF/BH	FF/BW	FF/BMI
PT	−0.164	−0.144	−0.203	−0.214	−0.142	−0.022	0.023	−0.084	−0.103	−0.001
F/E	0.350[a]	0.316	0.371[a]	0.382[a]	0.338[a]	0.145	0.047	0.190	0.204	0.123
ER	0.149	0.175	0.180	0.249	0.196	0.079	0.093	0.141	0.249	0.157

a:$P<0.05$;PT:峰力矩;F/E:屈伸比;ER:耐力比

面,等速功能测试目前被广泛应用于术后肌肉康复评定、肢体平衡性评定以及肌肉力量评估等众多领域[14]。等速峰力矩、屈伸比、耐力比是等速测试评估中的常用评价指标[15]。其中,评估力量通常采用低、中角速度,耐力测试通常推荐高角速度[3, 16]。等速功能测试具有高精度、高效率、高信度以及可重复性好等优点,被认为是肌肉理学检查的"金标准",但在实际应用中仍然存在诸多问题。首先,等速测试仪器价格昂贵且操作复杂,需要专业人员进行测量操作;其次,对伴有腰椎滑脱、压缩性骨折、重度骨质疏松的受试者,测试过程存在一定加重疾病、诱发骨折的安全风险;同时,受试者可能因为疼痛而降低依从性,甚至无法配合完成测试,导致测量结果的信度和效度减低;最后,不同型号等速测试系统的测量结果之间难以进行横向对比[3]。因此,从形态影像学角度去寻求一种高灵敏度、低风险的等速肌肉功能预测指标具有重要意义。

目前临床上常用的腰背肌影像学评估方法主要包括 CT、超声、磁共振等。其中磁共振因具有较高的软组织分辨率,成为目前临床研究中最常用的非侵入性评估方法。选择合适的磁共振成像技术成为研究的热点,磁共振 Dixon-VIBE 成像技术是近年来出现的新磁共振的成像序列,其原理是基于不同成分(水、脂肪)在特定场强中的共振频率差异,通过重建脂肪相与水相获得脂肪含量。该成像技术相对传统磁共振序列而言,不易受呼吸动度、涡流效应等混杂因素的影响,具有成像速度快、采集时间短、分辨率高以及较好的可重复性等优点[17]。目前在骨髓含量、肝脏脂肪含量测定以及多种疾病诊断等方面得到广泛应用[18-19],但在腰背肌退变定量分析中的研究应用较少。但该技术所得到的脂肪分数易受翻转角设定、脂肪谱复杂性、T1 偏差等因素的影响,目前尚未在临床得到普及应用[6]。本研究选用改良后的 6 回波 Dixon 扫描序列,其在肌肉脂肪定量评估中的准确性要明显优于传统 2、3 点分析法[7]。MRS 成像技术是在传统磁共振基础上进一步发展的另一种新型成像技术,主要基于化学位移及自旋耦合原理,通过组织代谢物浓度来反映波谱曲线的峰高,常被喻为"虚拟穿刺"[20],目前在代谢性疾病的进展监测、临床肌肉相关疾病的诊断及发病机制研究方面应用广泛。但相对 Dixon 技术,MRS 的扫描条件要求苛刻、耗时长、分辨率较低、后处理程序复杂、测量结果易受到感兴趣区域选择的影响[20],在一定程度上限制了 MRS 在临床的普及应用。本研究将这两种磁共振特殊成像序列应用于中老年受试者多裂肌退变定量分析中,对比分析二者对于多裂肌脂肪分数的评估作用,同时观察其对等速肌肉功能评估这一"金标准"的拟合程度,为满足因疼痛、疾病、设备等原因无法进行腰背肌等速肌肉功能检测的患者评估腰背肌功能的临床实际需求探索新的技术方法。

以多裂肌为代表的腰背伸肌群在保持正常体态、维持脊柱动态稳定及实现屈伸运动功能中发挥了主要作用,提供了腰椎稳定力量的 2/3[1]。多裂肌在腰骶段解剖结构中最靠近脊柱中线,通常由多层肌肉构成,肌肉的纤维主要是纵行走向,根据椎体节段不同,肌肉构成层次亦不相同[21]。多裂肌肌纤维由上至下呈放射状分布,在 L4/5 层面横截面积达到最大[22]。相对于竖脊肌和腰大肌而言,多裂肌在维持矢状面平衡及背伸活动中发挥的作用更为显著[23]。此外,L4/5 节段是脊柱主要承重和活动节段,应力相对最为集中,也是最容易发生退行性改变及损伤的运动单元。既往研究表明[24],椎间关节退变的严重程度和 L4/5 层面多裂肌的退变程度的相关性最明显,提示 L4/5 层面腰背肌退变最典型,故本研究选择 L4/5 层面多裂肌作为研究对象。

磁共振 Dixon-VIBE 及 MRS 两种成像技术在定量评估组织脂肪含量方面各有优劣。既往研究表明,磁共振 Dixon-VIBE 序列在肝脏、胰腺以及椎体骨髓脂肪含量的测定中与磁共振波谱检测的一致性较好[25],但二者在多裂肌退变定量分析中的应用报道较少。本研究将 Dixon-VIBE 和 MRS 这两种基于不同成像原理和计算方法的磁共振序列用于多裂肌脂肪含量的测定,对比研究发现这两种序列所测得多裂肌脂肪分数均具有较好的有效性和灵敏度,且呈高度正相关,提示这两种序列均适用于肌肉脂肪定量检测。

在此基础上,本研究对比了磁共振 Dixon-VIBE 及磁共振波谱序列对多裂肌脂肪分数的评估与腰背肌等速功能检测的拟合程度。腰背肌等速功能检测中的"屈伸比"参数代表腰背部屈、伸肌群力量的比值,可在一定正常范围内波动,超过这一正常范围则提示腰背屈伸肌力存在失衡情况[26]。结果发现,磁共振 Dixon-VIBE 序列较 MRS 对多裂肌脂肪含量检测值与屈伸比的相关性更显著,说明该序列对反映屈伸肌群肌力失衡情况方面更为敏感,是预测腰背部屈伸肌力失衡的更合适指标。腰背肌等速功能检测中的"峰力矩"是代表肌肉收缩过程中的最大力矩输出,"耐力"提示肌肉耐受疲劳能力大小[15]。本研究结果未发现腰背伸肌峰力矩、耐力比与 Dixon-VIBE 序列的多裂肌影像学退变参数存在具有统计学意义的相关性。分析其原因,首先,腰部背伸动作是包括多裂肌、最长肌、髂

肋肌等多组肌肉群的协同作用结果[27],伸肌峰力矩及耐力反映了整体腰背肌群的肌肉功能状况,通过单一层面多裂肌的退变指标不能有效反映整个腰背肌力量和耐力的整体水平。其次,多裂肌退变的影像学表现包括脂肪含量的增加、肌肉横截面积以及体积萎缩,脂肪分数在反映等速肌肉峰力矩及耐力方面可能不是最优指标。此外,MRS 序列检测的多裂肌脂肪分数与等速肌肉功能各指标未发现具有统计学意义的相关性,可能是由于两种序列的成像原理不同,MRS 序列是基于单个像素点进行信息采集,其测量结果更易受到感兴趣区域选择的影响。由于取样范围相对较小,组织内血流变化、脂肪容积效应会影响 MRS 序列的水波谱峰值,使该检测序列在同一组织区域内所选取的不同感兴趣区域的脂肪含量变化可超过 30%[28],导致其检测结果的可重复性欠佳和统计学差异。Dixon-VIBE 序列则通过手动勾勒出多裂肌整个横截面作为感兴趣区域,通过水相及脂肪相的信号强度值即可获得脂肪分数,能够在最大程度上保证采样完整性和可重复性[23]。因此,根据本研究结果推荐采用磁共振 Dixon-VIBE 序列对多裂肌的脂肪分数进行检测。

考虑到不同年龄、身高、体质量及 BMI 对肌肉影像学退变程度的影响[29-30],本研究将两个磁共振序列所测得多裂肌脂肪分数经加权修正处理后再次进行对比研究,并观察其与等速肌肉功能的拟合程度。结果发现,经身高、体质量、BMI 加权后两个磁共振序列所测脂肪含量的相关系数以及与屈伸比的拟合程度均进一步提升,其中,经体质量加权处理后相关性程度和拟合程度提升幅度最明显。因此,我们认为,相对于年龄、身高、BMI 等指标而言,体质量对于多裂肌脂肪变的影响作用最大,在定量评估肌肉脂肪化程度时,应优先考虑体质量对检测结果的个体差异影响。在上述所有加权算法中,体质量加权的磁共振 Dixon-VIBE 序列检测的多裂肌脂肪含量在反映屈伸比时具有最好的拟合程度。

本研究的局限性:纳入样本总量偏少,研究结果可能存在一定的选择偏倚;两种序列的影像学评估仅包含单一层面(L4/5)、单一肌肉(多裂肌)的脂肪定量情况。

综上所述,磁共振 Dixon-VIBE 序列检测腰 4~5 平面的多裂肌脂肪分数与腰背肌等速肌肉功能评估中的关键指标——屈伸比具有一定的相关性,经体质量加权后进一步提升相关程度,针对部分因缺乏设备、技术等客观原因无法完成等速肌肉功能测试的患者,该方法可作为评估其部分腰背肌功能的替代方案。

参考文献:

[1] OGON I, TAKEBAYASHI T, TAKASHIMA H, *et al*. Magnetic resonance spectroscopic analysis of multifidus muscles lipid content and association with spinopelvic malalignment in chronic low back pain[J]. Br J Radiol, 2017, 90(1073): 20160753. DOI:10.1259/bjr.20160753.

[2] VAN DER HORST N, DENDEREN R V. Isokinetic hamstring and quadriceps strength interpretation guideline for football (soccer) players with ACL reconstruction: a Delphi consensus study in the Netherlands[J]. Sci Med Footb, 2022. DOI:10.1080/24733938.2021.2024592.

[3] 宣磊, 吴建贤, 潘家武. 等速技术在康复医学领域中的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(7): 788-792. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2019.07.009.
XUAN L, WU J X, PAN J W. Advance in isokinetic concept for rehabilitation medicine (review)[J]. Chin J Rehabilit Theory Pract, 2019, 25(7): 788-792. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2019.07.009.

[4] 张灵艳, 李绍林, 郝帅. 比较氢质子磁共振波谱和正反相位 MRI 成像在骨髓脂肪沉积中的价值[J]. 中国骨质疏松杂志, 2015, 21(6): 691-696. DOI:10.3969/j.issn.1006-7108.2015.06.012.
ZHANG L Y, LI S L, HAO S. Comparison of 1H-MRS imaging and in-phase and out-phase MR imaging in the detection of bone marrow fat deposition[J]. Chin J Osteoporos, 2015, 21(6): 691-696. DOI:10.3969/j.issn.1006-7108.2015.06.012.

[5] 陈恩龙, 隋海晶, 仰绍君. 磁共振波谱成像评价绝经前双侧卵巢切除术对骨髓脂肪的影响[J]. 医学影像学杂志, 2020, 30(2): 280-283.
CHEN E L, SUI H J, YANG S J. MR spectroscopy-detected changes in marrow fat following bilateral oophorectomy in premenopausal women[J]. Chin J Med Imaging, 2020, 30(2): 280-283.

[6] 陆丰, 赵艳军, 倪建明, 等. VIBE-Dixon 序列骨髓脂肪定量与骨密度在女性骨质疏松症评价中的研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2021, 27(12): 1774-1779.
LU F, ZHAO Y J, NI J M, *et al*. A comparative study of VIBE-Dixon sequence bone marrow fat quantification and bone mineral density in the evaluation of female osteoporosis[J]. Chin J Osteoporos, 2021, 27(12): 1774-1779.

[7] YOO Y H, KIM H S, LEE Y H, *et al*. Comparison of multi-echo Dixon methods with volume interpolated breath-hold gradient echo magnetic resonance imaging in fat-signal fraction quantification of paravertebral muscle[J]. Korean J Radiol, 2015, 16(5): 1086-1095. DOI:10.3348/kjr.2015.16.5.1086.

[8] ROTH R, DONATH L, KURZ E, *et al*. Absolute and relative reliability of isokinetic and isometric trunk strength testing using the IsoMed-2000 dynamometer[J]. Phys Ther Sport, 2017, 24: 26-31. DOI:10.1016/j.ptsp.2016.11.005.

[9] GARCÍA-VAQUERO M P, BARBADO D, JUAN-RECIO C, *et al*. Isokinetic trunk flexion-extension protocol to assess trunk muscle strength and endurance: Reliability, learning effect, and sex differences[J]. J Sport Health Sci, 2020, 9(6): 692-701. DOI:10.1016/j.jshs.2016.08.011.

[10] 黄志平, 尹彦, 刘敏, 等. 等速肌力测试与训练技术的研究进展[J]. 体育科技, 2011, 32(4): 52-58. DOI:10.14038/j.cnki.tykj.2011.04.002.
HUANG Z P, YIN Y, LIU M, *et al*. The research evolution of the isokinetic technology in testing and training[J]. Sport Sci Technol, 2011, 32(4): 52-58. DOI:10.14038/j.cnki.tykj.2011.04.002.

[11] SUN D, LIU P, CHENG J, *et al*. Correlation between intervertebral disc degeneration, paraspinal muscle atrophy, and lumbar facet joints degeneration in patients with lumbar disc herniation[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2017, 18(1): 167. DOI:10.1186/s12891-017-1522-4.

[12] JERMY J E, COPLEY P C, POON M T C, *et al*. Does pre-operative multifidus morphology on MRI predict clinical outcomes in adults following surgical treatment for degenerative lumbar spine disease? A systematic review[J]. Eur Spine J, 2020, 29(6): 1318-1327. DOI:10.1007/s00586-020-06423-6.

[13] 王伟, 李危石, 陈仲强. 椎旁肌评价方法及其与腰椎疾病相关性的研究进展[J]. 中国修复重建外科杂志, 2020, 34(11): 1462-1467. DOI:10.7507/1002-1892.201912120.
WANG W, LI W S, CHEN Z Q. Progress on the evaluation method of paraspinal muscle and its correlation with lumbar diseases[J]. Chin J Reparative Reconstr Surg, 2020, 34(11): 1462-1467. DOI:10.7507/1002-1892.201912120.

[14] 张晓禾, 胡雅斌. 等速肌力联合本体感觉训练用于全膝关节置换术后康复的价值[J]. 中外医学研究, 2022, 20(7):42-45. DOI:10.14033/j.cnki.cfmr.2022.07.011.
ZHANG X H, HU Y B. Value of isokinetic muscle strength combined with proprioception training for rehabilitation after total knee arthroplasty[J]. Chin Foreign Med Res, 2022, 20(7): 42-45. DOI:10.14033/j.cnki.cfmr.2022.07.011.

[15] 陈灿, 杨森, 汤勇, 等. 成人退行性脊柱侧凸中老年患者的腰背屈伸肌群等速运动特征[J]. 广西医学, 2020, 42(23): 3030-3034. DOI:10.11675/j.issn.0253-4304.2020.23.06.
CHEN C, YANG S, TANG Y, *et al*. Characteristics of isokinetic motion of lumbodorsal flexor and extensor in middle-aged and elderly patients with adult degenerative scoliosis[J]. Guangxi Med J, 2020, 42(23): 3030-3034. DOI:10.11675/j.issn.0253-4304.2020.23.06.

[16] 宋爱晶, 邓京捷, 吕晓红, 等. 等速肌力测试膝、踝关节及腰背肌力量的评价[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(46): 7425-7429. DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.2015.46.009.
SONG A J, DENG J J, LYU X H, *et al*. Isokinetic muscle strength characteristics of the knee, ankle and trunk[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2015, 19(46): 7425-7429. DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.2015.46.009.

[17] 何敏, 陈品珍, 陈灿, 等. 多回波化学位移编码水脂成像技术定量评估退行性脊柱侧凸患者多裂肌退行性变的初步研究[J]. 重庆医科大学学报, 2021, 46(12): 1501-1506. DOI:10.13406/j.cnki.cyxb.002948.
HE M, CHEN P Z, CHEN C, *et al*. Evaluating multifidi degeneration in patients with degenerative scoliosis using multi-echo Dixon sequence: a preliminary study[J]. J Chongqing Med Univ, 2021, 46(12): 1501-1506. DOI:10.13406/j.cnki.cyxb.002948.

[18] 齐国将, 彭鹏. 磁共振 Dixon 技术在骨髓脂肪定量中的应用[J]. 放射学实践, 2020, 35(10): 1344-1347. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.10.026.
QI G J, PENG P. Application of MR dixon technology in bone marrow fat quantification[J]. Radiol Pract, 2020, 35(10): 1344-1347. DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.10.026.

[19] 裴晓姣, 潘振宇, 炼宇飞, 等. 椎体骨髓脂肪含量比在新诊断多发性骨髓瘤中的诊断价值[J]. 中国全科医学, 2021, 24(20): 2601-2606. DOI:10.12114/j.issn.1007-9572.2021.00.557-1.
PEI X J, PAN Z Y, LIAN Y F, *et al*. Predictive value of fat fraction quantification of lumbar spine for newly diagnosed multiple myeloma[J]. Chin Gen Pract, 2021, 24(20): 2601-2606. DOI:10.12114/j.issn.1007-9572.2021.00.557-1.

[20] 刘俊, 李建军, 高峰, 等. 磁共振波谱技术的临床应用进展[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(2): 201-204. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2019.02.013.
LIU J, LI J J, GAO F, *et al*. Application of magnetic resonance spectroscopy in clinic (review)[J]. Chin J Rehabilit Theory Pract, 2019, 25(2): 201-204. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2019.02.013.

[21] ROSATELLI A L, RAVICHANDIRAN K, AGUR A M. Three-dimensional study of the musculotendinous architecture of lumbar multifidus and its functional

implications[J]. Clin Anat, 2008, 21(6): 539-546. DOI:10.1002/ca.20659.

[22] CRAWFORD R J, CORNWALL J, ABBOTT R, *et al*. Manually defining regions of interest when quantifying paravertebral muscles fatty infiltration from axial magnetic resonance imaging: a proposed method for the lumbar spine with anatomical cross-reference[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2017, 18(1): 25. DOI: 10.1186/s12891-016-1378-z.

[23] 杨森, 武文杰, 鲁燕芬, 等. MRI 成像 Dixon-VIBE 序列定量评估退变性腰椎侧凸患者椎旁肌退变程度的可行性[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2020, 34(1): 72-76. DOI:10.13507/j.issn.1674-3474.2020.01.020.
YANG S, WU W J, LU Y F, *et al*. Feasibility of MRI imaging with Dixon-VIBE sequence for quantitative evaluation of paravertebral muscles degeneration in patients with degenerative lumbar scoliosis[J]. J Chin Pract Diagn Ther, 2020, 34(1): 72-76. DOI:10.13507/j.issn.1674-3474.2020.01.020.

[24] 张军. 腰椎多裂肌磁共振数据与关节突关节退变的相关性[J]. 颈腰痛杂志, 2021, 42(1): 103-106. DOI:10.3969/j.issn.1005-7234.2021.01.028.
ZHANG J. Correlation between MRI data of lumbar multifidus muscle and facet joint degeneration[J]. J Cervicodynia Lumbodynia, 2021, 42(1): 103-106. DOI: 10.3969/j.issn.1005-7234.2021.01.028.

[25] LI X J, KUO D, SCHAFER A L, *et al*. Quantification of vertebral bone marrow fat content using 3 Tesla MR spectroscopy: reproducibility, vertebral variation, and applications in osteoporosis[J]. J Magn Reson Imaging, 2011, 33(4): 974-979. DOI:10.1002/jmri.22489.

[26] 张德辉, 黄昌林, 刘鼎成. 青年下背痛患者躯干肌力及腰椎曲度的临床研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2003, 25(8): 469-471. DOI: 10.3760/j: issn: 0254-1424.2003.08.008.
ZHANG D H, HUANG C L, LIU D C. A clinic study of trunk muscle strength and lumbar curvature in young patients with low back pain[J]. Chin J Phys Med Rehabilit, 2003, 25(8): 469-471. DOI: 10.3760/j: issn: 0254-1424.2003.08.008.

[27] 杜凯薇, 张进. 腰椎旁肌的临床相关研究进展[J]. 中国药物与临床, 2020, 20(15): 2542-2545. DOI: 10.11655/zgywylc2020.15.026.
DU K W, ZHANG J. The clinical research progress of lumbar paraspinal muscles[J]. Chin Remedies Clin, 2020, 20(15): 2542-2545. DOI: 10.11655/zgywylc2020.15.026.

[28] 刘斌, 董国礼, 郭静, 等. 椎体^{1}H-MRS 的临床应用研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2012, 35(6): 553-556. DOI: 10.3784/j.issn.1674-1897.2012.06.Z0610.
LIU B, DONG G L, GUO J, *et al*. The clinical research progress of ^{1}H-MRS on vertebral[J]. Int J Med Radiol, 2012, 35(6): 553-556. DOI: 10.3784/j.issn.1674-1897.2012.06.Z0610.

[29] 谭辉, 樊秋菊, 杨震, 等. 磁共振多回波 Dixon 序列对骨质疏松症腰椎功能性肌肉: 骨骼单位脂肪浸润的定量评价[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(12): 2340-2344. DOI:10.13437/j.cnki.jcr.2021.12.020.
TAN H, FAN Q J, YANG Z, *et al*. Quantitative assessment of fat infiltration in the functional muscle-bonein patients with osteoporosis by MRI multi echo Dixon sequence[J]. J Clin Radiol, 2021, 40(12): 2340-2344. DOI:10.13437/j.cnki.jcr.2021.12.020.

[30] FORTIN M, VIDEMAN T, GIBBONS L E, *et al*. Paraspinal muscle morphology and composition: a 15-yr longitudinal magnetic resonance imaging study[J]. Med Sci Sports Exerc, 2014, 46(5): 893-901. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000179.

(**收稿**:2022-04-03;**修回**:2022-06-20)

(编辑 张 维)