

论 著

骨骼肌MRI成像在Duchenne肌营养不良症的应用价值

何荣兴 赖志芬 梁颖茵*

中山大学附属第一医院东院放射科
(广东广州 510700)

【摘要】目的 分析骨骼肌磁共振成像(MRI)成像技术在Duchenne型肌营养不良症(DMD)的临床应用价值。**方法** 收集2019年5月至2022年5月在本院收治的64例DMD患者临床资料(DMD组),另选取本院无神经肌肉障碍及肌无力病史的16例正常健康体检男孩进行MRI骨骼肌成像检查(对照组)。入试者均行T₁WI肌肉冠状面扫描、横断面T₁WI和T₂WI-STIR脂肪抑制序列检查,观察所得MRI图像,分析肌肉脂肪浸润和水肿特点,对比不同人群、不同临床特征患者中MRI脂肪浸润、水肿累计评分差异,分析MRI脂肪浸润、水肿累计评分与患者临床特征相关性。**结果** DMD患者T₁WI和T₂WI-STIR脂肪检查中受累肌肉的变性均为高信号,提示正常的肌肉组织为脂肪组织浸润替代;对照组MRI检查为中等强度信号。64例DMD患者大腿肌肉均出现不同程度脂肪浸润情况,以臀大肌受累最明显(100%),股薄肌受累最少(39.06%);T₁WI脂肪浸润评分为4分最高为臀大肌(62.50%),最低为缝匠肌与股薄肌;T₁WI脂肪浸润评分为0分者占比最高为股薄肌(60.94%),其次为缝匠肌(56.25%)。51例患者大腿肌肉出现不同程度水肿改变,累积率低于脂肪浸润受累率,表现为双侧不对称性分布,以股二头肌受累最明显(64.06%),最少受累为阔筋膜张肌(20.31%);T₂WI-STIR水肿分级为3级最高者为肌肉为半腱肌(17.19%),分级为0级最多为阔筋膜张肌(79.69%)。DMD组MRI脂肪浸润、水肿累计评分均明显高于对照组(P<0.05)。不同年龄、身高、体重、临床运动功能分级的DMD组患者中的MRI脂肪浸润评分比较存在差异(P<0.05),Pearson相关性结果显示MRI脂肪浸润与患者年龄、身高、体重、临床运动功能之间均存在正相关关系(P<0.05),与BMI之间无相关性(P>0.05);水肿评分与DMD患者各项临床特征无相关性(P>0.05)。**结论** DMD患者骨骼肌MRI成像具有一定特征性,MRI脂肪浸润评分可反映肌肉受累情况及程度,且与患者临床运动功能密切相关,对临床诊疗及疾病严重程度评估有参考价值。

【关键词】 骨骼肌;磁共振;
Duchenne 肌营养不良症;脂肪浸润;
水肿

【中图分类号】R445.2; R256.51

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.02.047

The Application Value of Skeletal Muscle MRI Imaging in Duchenne Muscular Dystrophy

HE Rong-xing, LAI Zhi-fen, LIANG Ying-yin*

Department of Radiology, The Eastern Hospital of First Affiliated Hospital, Sun Yat Sen University, Guangzhou 510700, Guangdong Province, China

ABSTRACT

Objective To analyze the clinical application value of skeletal muscle magnetic resonance imaging (MRI) imaging technology in Duchenne muscular dystrophy (DMD). **Methods** Clinical data of 64 DMD patients admitted to our hospital from May 2019 to May 2022 (DMD group) were collected. Additionally, 16 healthy boys who had no history of neuromuscular disorders or muscle weakness in our hospital were selected for MRI skeletal muscle imaging examination (control group). All the subjects underwent T₁WI muscle Coronal plane scan, transverse T₁WI and T₂WI-STIR fat suppression sequence examination, observed the MRI images, analyzed the characteristics of muscle fat infiltration and edema, compared the differences of MRI fat infiltration and edema cumulative scores in different populations and patients with different clinical characteristics, and analyzed the correlation between MRI fat infiltration, edema cumulative scores and patients' clinical characteristics. **Results** The degeneration of the affected muscles in the T₁WI and T₂WI-STIR fat examinations of DMD patients was high signal, indicating that normal muscle tissue was replaced by infiltration of adipose tissue; The MRI examination of the control group showed moderate intensity signals. The thigh muscles of 64 DMD patients showed different degrees of fat infiltration, with Gluteus maximus being the most affected (100%) and gracilis being the least affected (39.06%); The score of fat infiltration on T₁WI was 4, the highest was Gluteus maximus (62.50%), the lowest was Sartorius muscle and gracilis muscle; The proportion of patients whose T₁WI fat infiltration score was 0 was the highest in gracilis muscle (60.94%), followed by Sartorius muscle (56.25%). In 51 patients, the thigh muscles showed edema changes of varying degrees, and the frequency of involvement was lower than that of fat infiltration, which showed a bilateral asymmetric distribution. The Biceps femoris muscle was most affected (64.06%), and the tensor fasciae latae muscle was least affected (20.31%); The highest T₂WI-STIR edema grade of 3 was semitendinosus (17.19%), and the highest grade of 0 was Tensor fasciae latae muscle (79.69%). The cumulative scores of MRI fat infiltration and edema in the DMD group were significantly higher than those in the control group (P<0.05). There were differences in MRI fat infiltration scores among DMD patients with different age, height, weight, and clinical motor function grading (P<0.05), Pearson correlation results showed a positive correlation between MRI fat infiltration and patient age, height, weight, and clinical motor function (P<0.05), but no correlation with BMI (P>0.05); There was no correlation between edema score and various clinical characteristics of DMD patients (P>0.05). **Conclusion** MRI imaging of skeletal muscles in DMD patients has certain characteristics, and the MRI fat infiltration score can reflect the degree and severity of muscle involvement, which is closely related to the patient's clinical motor function, and has reference value for clinical diagnosis and treatment and disease severity assessment.

Keywords: Skeletal Muscle; Magnetic Resonance Imaging; Duchenne Muscular Dystrophy; Fat Infiltration; Edema

Duchenne肌营养不良症(Duchenne muscular dystrophy, DMD)是临床上常见的一种遗传病,属于X隐性遗传^[1]。在患病后患者骨骼肌可出现迅速或渐进性的破坏,引起全身肌无力,其中以大腿肌肉受损尤为显著,随着患者病情发展,可出现心肌损害、呼吸和循环衰竭等,严重损害患者生命健康。有研究显示,在患者肌肉出现不可逆损害前进行干预治疗,延缓患者肌力丧失速度,保留其运动功能,对患者预后及其生活质量有积极意义^[2]。目前,该病的诊断主要依赖基因及肌肉活检检查,但肌肉活检属于比较创伤性的检查手段,对疾病进展及转移等方面提供的证据有限。骨骼肌磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)安全无创性,且软组织分辨率高,可鉴别肌肉水肿性病变或脂肪变;因多平面成像的优点,可以帮助选择合适的肌肉组织进行活检,能重复多次检查并观察整个肌群的受累情况和分布特点^[3]。基于此,本研究收集分析64例DMD患者临床资料,总结DMD患者的骨骼肌MRI特征,探究其影像特点及MRI在DMD临床评估中应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集2019年5月至2022年5月在本院收治的64例DMD患者临床资料(DMD组)。

纳入标准:入试者及家属均知晓并签署知情同意书;基因检测或肌肉活检病理明确诊断:MD基因发生突变患者(缺失突变、重复突变或点突变),同时伴有典型临床表现;存在DMD基因突变,不伴有典型临床表现时,通过肌肉活检免疫组化染色,当dystioplillin蛋白表达完全缺失方可确诊^[4];临床资料完整。排除标准:合并其他慢性病史者;合并代谢或内分泌科疾病者;合并其他类型神经肌肉病者;检查部

【第一作者】何荣兴,男,主管技师,主要研究方向: MRI技术。E-mail: herongxing1981@163.com

【通讯作者】梁颖茵,女,副主任医师,主要研究方向:神经肌肉病、遗传病。E-mail: Shywjua@163.com

位有外伤者。64例患者均为男性,年龄为4~14岁,平均年龄(7.33 ± 2.60)岁,身高94~154cm,平均(116.83 ± 13.21)cm;体重15~49kg,平均(24.69 ± 4.39)kg,体质指数(body mass index, BMI) $12.29 \sim 22.55 \text{ kg/m}^2$,平均(17.83 ± 2.16) kg/m^2 ,下肢运动功能评价分级^[5]:1级16例,2级28例,3级15例,4级5例,以肢体无力、走路姿势异常就诊。另选取本院无神经肌肉障碍、无肌无力病史的16例正常健康体检男孩进行MRI检查(对照组),年龄4~14岁,平均年龄(7.48 ± 2.13)岁,身高93~155cm,平均(117.12 ± 13.60)cm;体重15~49kg,平均(24.37 ± 4.85)kg, BMI $12.56 \sim 23.15 \text{ kg/m}^2$,平均(17.53 ± 2.19) kg/m^2 。

1.2 方法

1.2.1 预准备 在检查前,应告知被检者尽可能避免运动,以防出现因运动导致的肌肉水肿。如果患者不能配合检查,则给予患者镇静处理,如灌肠或口服水合氯醛。

1.2.2 MRI检查 体位设计:嘱受检者棉球塞耳以保护听力,后仰卧于检查床上,脚先进,双上肢和下肢自然平伸,下颌内收,人体正中矢状面与加长板中心线保持平行并重合。用沙袋固定好四肢,让受检者在检查过程中保持静止,平静呼吸。设备采用飞利浦Achieva 1.5T双梯度MRI扫描仪,5通道HDCTL全脊柱阵列线圈(身高不足1米的小孩)或Q-BODY线圈,所有受检者均平扫。首先采用无缝拼接技术行骨骼肌T₁WI冠状面扫描,扫描参数:TR:500, TE:18ms,矩阵 432×320 激励次数3,层厚:7mm,层间距:1mm,5段总计7:25s。采用自动进床技术,定位1次,获取腰骶段、大腿段及小腿段的扫描图像,配合BODY线圈(具体参照受检者的身高)。横断面的扫描部位选择双侧小腿、大腿包骨盆,分四次获得轴位T₁WI、T₂WI-STIR脂肪抑制序列。扫描参

数:T₁WI横断面,TR 500ms, TE 18ms, FOV: 230 mm $\times$ 270 mm,矩阵 180×210 ,体素:1mm $\times$ 1.30mm $\times$ 10mm,层厚:10mm、层间距:1mm,扫描层数28层。T₂WI-STIR脂肪抑制序列横断面,TR:500ms, TE:18ms, FOV: 230mm $\times$ 270 mm,矩阵 180×210 ,体素:1mm $\times$ 1.30mm $\times$ 5mm,层厚:10mm、层间距:1mm,扫描层数28层,T₁WI、T₂WI-STIR均以各部位中段为中心行横断面扫描。

1.2.3 图像后处理 将原始图像在后处理工作站,利用拼接处理软件PASTING将原始图像自动无缝拼接成骨骼肌图像,整体显示肌肉、脂肪、骨骼病变及空间关系。

1.2.4 影像评估及图解 由2位10年资深影像科诊断医师对MRI图像进行独立诊断、评估。MRI评价指标主要是观察患者的臀部、大腿及小腿的脂肪浸润、肌肉形态以及水肿的范围。参照KIM HK等^[6]方法对T₁WI脂肪浸润进行分级(见图1),0级(0分)表示并没有脂肪浸润,信号强度一致;1级(1分)表示有轻度的脂肪浸润,大部分的信号强度保持统一,只可发现少量的高信号;2级(2分)表示有轻度的脂肪浸润,高信号可分布在低于30%的肌肉组织中;3级(3分)表示有中度的脂肪浸润,高信号可分布在30%-60%的肌肉组织中,肌肉和皮下脂肪之间分界清晰;4级(4分)表示有重度的脂肪浸润,高信号可分布在超过60%的肌肉组织中,肌肉和皮下脂肪之间分界不清晰的。T₂WI-STIR水肿分级标准(见图2)^[7]:0级(0分),显示肌肉信号强度均匀,无高信号,提示无水肿;1级(1分),显示轻微肌束间水肿;2级(2分),轻微阶段性或是全面性的肌束间及肌束内水肿;3级(3分),可见明显阶段性或是全面性的肌束间及肌束内水肿。

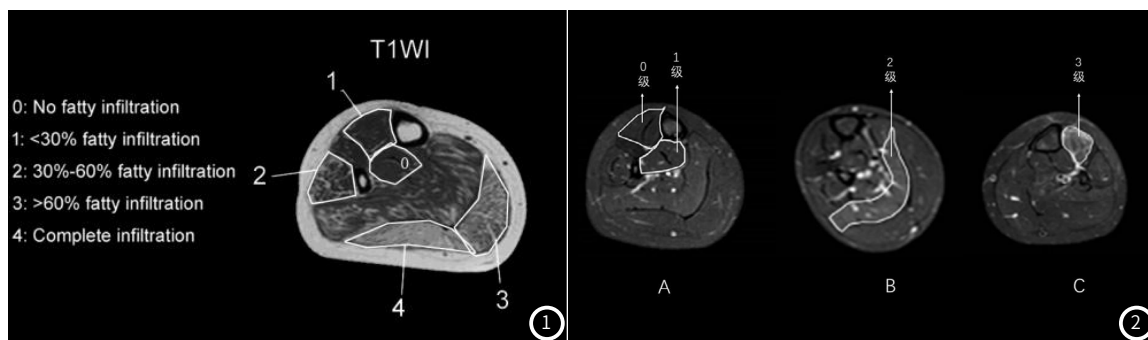


图1 T₁WI脂肪浸润分级示意图;(1、2、3、4示意分别显示臀大腿T₁WI脂肪浸润1-4级,T₁WI信号异常增高。白色箭头所示闭孔内肌脂肪浸润0级,T₁WI信号均一,无脂肪浸润。)

图2 炎症水肿分级示意图:[A: 胫骨外侧肌T₂WI-STIR信号均匀未见异常信号影,水肿分级0级。胫骨后肌(白色轮廓所示)可见轻微肌束间T₂WI-STIR高信号病灶,水肿分级1级。B: 比目鱼肌(白色轮廓所示)肌束间和肌束内均可见轻微阶段性T₂WI-STIR更高信号病灶,水肿分级2级。C: 胫骨前肌(白色轮廓所示)全面性T₂WI-STIR高信号病灶,肌束间和肌束内均受累,水肿分级3级]

1.3 观察指标 观察所得MRI图像,总结肌肉脂肪浸润和水肿特点,对比不同人群、不同临床特征患者中MRI脂肪浸润、水肿累计评分差异,评估MRI脂肪浸润、水肿累计评分与患者临床特征相关性。

1.4 统计学处理 本研究数据均采用SPSS 20.0软件进行统计分析,计量资料采用平均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)描述,t检验,采用Pearson相关性分析MRI脂肪浸润、水肿累计评分与患者临床特征相关性,均以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者骨骼肌脂肪浸润的分布及水肿受累程度 DMD患者:T₁WI和T₂WI-STIR脂肪检查中受累肌肉的变性均为高信号,提示正常的肌肉组织为脂肪组织浸润替代。64例患者大腿肌肉均出现不同程度脂肪浸润情况,以臀大肌受累占比最高为100%(64/64);股薄肌受累最少,占比为39.06%(25/64);T₁WI脂肪浸润评分为4分最高为臀大肌62.50%(40/64),最低为缝匠肌与股薄肌;T₁WI脂肪浸润评分为0分者占比最高为股薄肌60.94%(39/64),其次为缝匠肌56.25%(36/64)。

51例患者大腿肌肉出现不同程度水肿改变,累频率明

显低于脂肪浸润受累频,表现为双侧不对称性分布。以股二头肌受累占比高为64.06%(41/64),最少受累为阔筋膜张肌20.31%(13/64);T₂WI-STIR水肿分级为3级最高者为肌肉为半腱肌17.19%(11/64),分级为0级占比最高者为阔筋膜张肌79.69%(51/64)。对照组为中等强度信号,处于皮下脂肪信号和骨皮质信号之间,图像可以清晰的显示出各块肌肉的具体解剖形态。详情见表1。

2.2 不同人群MRI脂肪浸润、水肿累计评分比较 DMD组MRI脂肪浸润、水肿累计评分均明显高于对照组,两组比较差异有统计学意义($P < 0.05$),见表2。

2.3 不同临床特征的DMD患者MRI脂肪浸润、水肿累计评分比较 在不同年龄、身高、体重、临床运动功能分级患者中MRI脂肪浸润评分比较存在差异($P < 0.05$),在不同BMI中患者MRI脂肪浸润评分无差异($P > 0.05$);不同临床特征患者水肿评分比较无差异($P > 0.05$),见表3。

2.4 MRI脂肪浸润、水肿累计评分与DMD患者临床特征的相关性 MRI脂肪浸润与患者年龄、身高、体重、临床运动功能之间均存在正相关关系($P < 0.05$),与BMI之间无相关性($P > 0.05$);水肿评分与DMD患者各临床特征无明显相关性($P > 0.05$),见表4及图3。

表1 患者骨骼肌脂肪浸润的分布及水肿受累程度

肌肉		脂肪浸润(分)					水肿(分)			
		0	1	2	3	4	0	1	2	3
臀部	臀大肌	0	3	11	10	40	33	20	7	4
	臀中肌	0	6	13	9	36	25	25	13	1
	臀小肌	0	7	12	10	35	29	19	15	1
	阔筋膜张肌	17	24	11	5	7	51	9	3	1
	耻骨肌	8	29	12	15	6	31	18	13	2
大腿	大收肌	2	7	8	13	34	34	9	13	8
	股二头肌	9	17	11	11	16	23	16	15	10
	股外侧肌	8	20	7	5	24	30	15	16	3
	股中侧肌	13	15	15	7	14	38	16	8	2
	股内侧肌	10	15	11	10	18	29	22	11	2
	股直肌	13	18	12	8	13	42	12	7	3
	半膜肌	12	22	15	10	5	30	17	14	3
	长收肌	20	11	17	8	8	39	10	9	6
	半腱肌	15	26	13	8	2	33	9	11	11
	缝匠肌	36	24	4	0	0	37	15	8	4
小腿	股薄肌	39	21	3	1	0	34	10	12	8
	比目鱼肌	9	29	23	2	1	22	29	11	2
	胫骨前肌	7	31	22	3	1	29	31	3	1
	胫骨后肌	0	38	23	2	1	27	28	8	1

表2 不同人群MRI脂肪浸润、水肿累计评分比较

组别	例数	脂肪浸润(分)	水肿(分)
对照组	16	0.94±0.11	1.24±0.33
DMD组	64	23.88±4.58	9.96±2.79
t	-	19.937	12.421
P	-	<0.001	<0.001

表3 不同临床特征患者MRI脂肪浸润、水肿累计评分比较

临床特征		脂肪浸润(分)	水肿(分)
年龄(岁)	>7(n=33)	31.29±5.26	10.15±2.15
	≤7(n=31)	15.99±5.18	9.77±2.36
t		11.715	0.674
P		<0.001	0.502
身高(cm)	>116(n=29)	36.71±5.17	10.08±1.84
	≤116(n=35)	13.25±4.22	9.87±1.69
t		12.523	0.475
P		<0.001	0.636
体重(kg)	>24(n=30)	33.61±5.90	10.20±1.88
	≤24(n=34)	15.30±5.21	9.76±1.79
t		13.186	0.958
P		<0.001	0.341
BMI(kg/m ²)	>17(n=36)	24.34±5.64	10.11±1.50
	≤17(n=28)	23.29±5.31	9.78±1.87
t		0.757	0.783
P		0.451	0.436
临床运动功能(级)	1-2(n=44)	16.69±4.28	9.88±2.64
	3-4(n=20)	39.71±5.15	10.16±2.14
t		18.701	0.415
P		<0.001	0.679

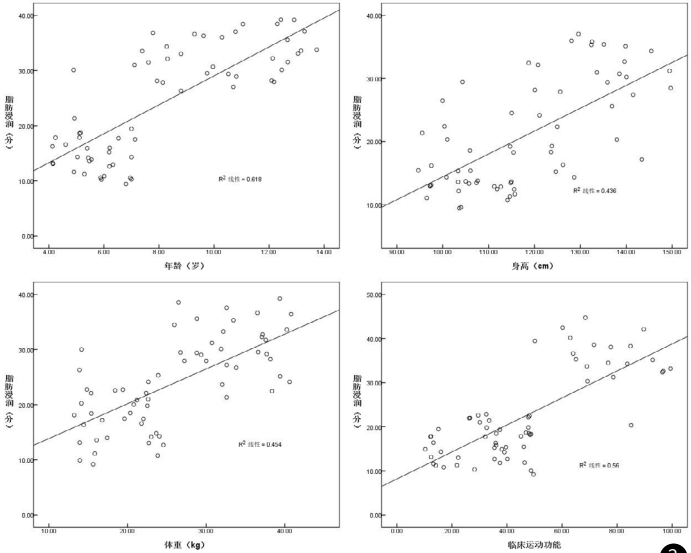


图3 MRI脂肪浸润评分与患者临床特征相关性散点图; (A: MRI脂肪浸润评分与年龄相关性散点图; B: MRI脂肪浸润评分与身高相关性散点图; C: MRI脂肪浸润评分与体重相关性散点图; D: MRI脂肪浸润评分与临床运动功能相关性散点图)

表4 MRI脂肪浸润、水肿累计评分与DMD患者临床特征的相关性

临床特征	脂肪浸润		水肿	
	r	P	r	P
年龄	0.613	<0.001	0.233	0.081
身高	0.517	0.001	0.210	0.074
体重	0.633	<0.001	0.168	0.147
BMI	0.133	0.681	0.144	0.184
临床运动功能	0.847	<0.001	0.136	0.196

3 讨 论

DMD患者临床表现有一定特征性,但在早期阶段表现不典型,且年龄越小症状越不明显。随着患者病情进展,肌肉动作电位幅降低,变性肌肉的失神经及部分神经再支配,进行肌电图检查可检测到有复杂重复放电、纤颤电位、正尖波等情况,但此检查方法属于有创性检查并无特异性,在临床应用中价值受限^[8]。因此,寻找无创且诊断效能好的检查方式为临床需解决的问题。

随着MRI在临床中应用,在DMD的临床评估中也逐渐显示其优势。以往研究显示,通过MRI骨骼肌成像检查可评估患者肌肉受累部位、程度以及范围,区别脂肪变性和炎性水肿情况^[9]。DMD患者的MRI常规检查中可出现短T1长T2信号,提示患者存在肌肉脂肪浸润;长T1长T2信号,T₂WI脂肪抑制序列为高信号,提示存在炎性水肿^[10]。在本研究中结果显示,T₁WI和T₂WI-STIR脂肪检查中受累肌肉的变性都为高信号,提示正常的肌肉组织被脂肪组织浸润替代,患者脂肪浸润程度高于炎性水肿,水肿频率较低,说明DMD患者MRI检查以肌肉脂肪浸润为主,部分肌群合并水肿,与以往研究结果相符^[11]。肌肉脂肪浸润的发生具有不可逆转的特征,在本研究中发现,DMD患者不同的肌群受累的程度不一,以臀大肌受累程度、受累频率最明显,缝匠肌、股薄肌受累程度及频率则最轻,笔者认为受损程度不一或与不同部位的功能特点差异有关,解释为维持机体大腿内旋、内收、躯体直立、伸膝运动的主要作用于大收肌、股四头肌,出现脂肪浸润频率及程度更严重,对于协助髋关节内收、屈髋屈膝的半腱肌、股薄肌、缝匠肌等,主要是协调作用,受力较小因此受损程度轻微^[12-13]。在本研究中,患者股薄肌、缝匠肌脂肪浸润程度也多为0-1级,多为起协调作用或活动较少的肌肉,而臀大肌、大收肌浸润程度多集中于4级。

研究表明,DMD骨骼肌脂肪成份占比大,了解患者肌肉脂肪浸润情况对其临床评估及预后有一定参考价值^[14-15]。MRI检查中可利用脂肪浸润、水肿半定量评分评估患者肌肉病变程度,T1加权高信号能显示肌肉萎缩和脂肪浸润度,而T2加权和STIR序列高信号反映病变部位的炎症活动程度,可较为客观评论患者病情发展情况。本研究中对DMD患者与健康受试者MRI脂肪浸润、水肿半定量参数可知,DMD患者脂肪浸润、水肿评分均明显高于健康受试者,结果表明MRI检查通过分析患者脂肪浸润、水肿情况及半定量评分或可为患者临床诊疗提供一定参考依据^[16]。对比不同临床特征患者脂肪浸润、水肿评分可知,在不同年龄、身高、体重、临床运动功能分级患者中MRI脂肪浸润评分,且脂肪浸润评分与年龄、身高、体重、临床运动功能分级为正相关关系,水肿评分与临床特征无相关性,提示脂肪浸润程度对肌肉产生损伤程度高,而水肿对肌肉无力影响不明显。脂肪浸润评分与临床运动功能分级密切相关,提示其对患者病情进展评估有重要参考价值^[17]。但有研究显示,肌肉水肿情况虽然与患者临床功能无关,但其属于疾病活动期潜在可逆阶段,对处于水肿期患者进行干预或可延缓患者病情进展,对临床治疗方案选择有一定参考意义^[18-19]。

综上所述,DMD患者骨骼肌MRI成像中具有一定特征性,MRI脂肪浸润评分可反映肌肉受累情况及程度,且与患者临床运动功能密切相关,对临床诊疗及疾病严重程度评估有参考价值。值得注意的是,空间分辨率高、定位准的优势能解决以往临床上对大范围骨骼肌成像难、低高分辨力的难题,于MRI扫描过程中,仍然需要严格嘱咐患者全程保持静止,才能利于扫描后的各组段图像自动无缝拼接,这对于临床选择合适的肌肉组织进行活检、增加患者受益度有重要的基础性意义。

参考文献

- [1] 张银纯,李思涛,蔡尧,等. Duchenne型肌营养不良症的临床特点和基因分析[J]. 中国妇幼保健, 2022, 37 (3): 544-547.
- [2] 张成,李欢. Duchenne型肌营养不良症治疗研究进展及应用前景[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2018, 18 (7): 480-493.
- [3] Carter JC, Sheehan DW, Prochoroff A, et al. Muscular dystrophies[J]. Clin Chest Med, 2018, 39 (2): 377-389.
- [4] 北京医学会罕见病分会, 北京医学会神经内科学分会神经肌肉病学组, 中国肌营养不良协作组. Duchenne型肌营养不良多学科管理专家共识[J]. 中华医学杂志, 2018, 98 (35): 2803-2814.
- [5] Bushby K, Finkel R, Birnkrant D J, et al. Diagnosis and management of Duchenne muscular dystrophy, part 1: diagnosis, and pharmacological and psychosocial management[J]. Lancet Neurol, 2010, 9 (1): 77-93.
- [6] Kim H K, Merrow A C, Shiraj S, et al. Analysis of fatty infiltration and inflammation of the pelvic and thigh muscles in boys with Duchenne muscular dystrophy (DMD): grading of disease involvement on MR imaging and correlation with clinical assessments[J]. Pediatr Radiol, 2013, 43 (10): 1327-1335.
- [7] Mercuri E, Pichiecchio A, Allsop J, et al. Muscle MRI in inherited neuromuscular disorders: past, present, and future[J]. J Magn Reson Imaging, 2007, 25 (2): 433-440.
- [8] 程晓悦, 肖江喜, 杜婧, 等. MR T₂mapping成像在Duchenne肌营养不良症中的应用[J]. 国际医学放射学杂志, 2018, 41 (2): 146-150.
- [9] 梁颖茵, 黎规典, 何荣兴, 等. Duchenne型肌营养不良症肌肉磁共振成像脂肪浸润和水肿特点分析[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2018, 18 (7): 501-505.
- [10] 罗益镇, 陈嘉坤, 梁国华, 等. Duchenne型肌营养不良症大腿肌肉MRI与临床运动功能相关性研究[J]. 实用放射学杂志, 2022, 38 (12): 2039-2042.
- [11] Yn L, Xie ZY, Xu HY, et al. T₂ mapping and fat quantification of thigh muscles in children with Duchenne muscular dystrophy[J]. Cur Med Sci, 2019, 39 (1): 138-145.
- [12] 石采灵, 傅航, 郭应坤, 等. T₂WI-Dixon序列在杜氏肌营养不良症患者肌肉脂肪浸润和水肿评价中的应用价值研究[J]. 磁共振成像, 2022, 13 (7): 96-102.
- [13] 唐静, 张家鹏, 杨学军, 等. 磁共振成像在肌营养不良疾病诊断中的应用价值[J]. 中国当代儿科杂志, 2022, 24 (11): 7.
- [14] 卜姗姗, 肖江喜, 朱颖, 等. 杜氏肌营养不良与贝氏肌营养不良常规MRI的对比研究[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35 (11): 1717-1721.
- [15] Day JA, Bajic N, Gentili S, et al. Radiographic patterns of muscle involvement in the idiopathic inflammatory myopathies[J]. Muscle Nerve, 2019, 60 (5): 549-557.
- [16] 牛焕红, 陶东英, 成胜权. Becker/Duchenne肌营养不良患儿临床表型与基因关联性预测分析[J]. 中国当代儿科杂志, 2020, 22 (6): 602-607.
- [17] 汪昌, 周洁, 石永光, 等. Duchenne型肌营养不良酶学与肌肉脂肪浸润度的研究[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2021, 24 (11): 954-960.
- [18] Peng F, Xu H, Song Y, et al. Utilization of T₁-mapping for the pelvic and thigh muscles in Duchenne muscular dystrophy: a quantitative biomarker for disease involvement and correlation with clinical assessments[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2022, 23 (1): 681.
- [19] 王霞, 王鹏娟, 熊婷, 等. MRI对进行性肌营养不良大腿肌肉脂肪浸润评估的应用研究[J]. 实用放射学杂志, 2019, 35 (1): 81-84.

(收稿日期: 2023-07-07)

(校对编辑: 韩敏求)