

综述

不同影像学参数在评估腰部椎旁肌退变中应用的研究进展

Research progress of imaging parameters in the evaluation of lumbar paraspinal muscles degeneration

韩耕愚, 姜宇, 李危石

(脊柱疾病研究北京市重点实验室 骨与关节精准医学教育部工程中心 北京大学第三医院骨科 100191 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2020.06.13

中图分类号: R681.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2020)-06-0566-06

椎旁肌是维持脊柱稳定和运动功能的重要结构之一,包括前群(腰大肌、腰小肌和腰方肌)和后群(多裂肌、竖脊肌、半棘肌、回旋肌和横突间肌)。椎旁肌退变的研究主要集中在多裂肌、竖脊肌和腰大肌退变,其与多种腰椎疾病及手术预后密切相关^[1]。椎旁肌退变包括肌肉数量(quantity)和肌肉质量(quality)两方面改变,主要以肌肉萎缩(肌纤维变细及减少,肌肉质量变小)和脂肪浸润(肌肉成分改变)的形式表现。随着影像技术不断发展,研究者可利用超声、CT和MRI等手段从不同角度描述椎旁肌退变,探究其在腰椎退行性疾病中的作用。已有大量研究报道了椎旁肌退变的影像学评估及其与腰椎疾病的关系,但是由于采用影像学参数不同、评价体系不统一,且受个体因素差异大,使得不同研究的结果难以比较^[2-3]。目前该研究领域中最常用的影像学参数为椎旁肌横截面积(cross-sectional area, CSA)、肌肉密度(muscle density)及脂肪浸润(fat infiltration),笔者将从这三方面以及新型影像学指标在评估腰部椎旁肌退变中的应用进行文献综述,比较各个影像学参数在相关研究中的适用范围、优势及不足。

1 CSA

CSA表示肌纤维数量,可定量反映椎旁肌萎缩程度。一方面CSA常被用来评估腰部肌肉力量;另一方面CSA与椎旁肌运动功能相关,CSA减少的患者其脊柱轴向旋转和侧弯能力下降^[4]。CSA指标可分为总CSA、功能性CSA(functional CSA, FCSA)、FCSA/总CSA、脂肪CSA/总CSA、CSA不对称性^[5]。总CSA代表筋膜内的全部肌肉面积,包括脂肪组织。测量不包括肌内脂肪的纯肌肉(lean muscle)面积称为FCSA。FCSA/总CSA被认为能更有效地反映真实的肌肉萎缩情况,因肌肉含量下降的同时被大量脂肪组织代替,总CSA可不发生明显变化^[6]。总CSA与FCSA/总CSA可用于评估腰椎退变性疾病及腰椎手术预后等相关

因素^[6]。CSA不对称性被用于评估腰椎两侧肌肉萎缩的差异,在单侧病变时更为显著,可用(较大侧-较小侧)/较大侧×100%计算得出^[5]。

1.1 测量工具

MRI、CT及超声均可定量测量肌肉CSA。越来越多的学者应用MRI分析腰部椎旁肌CSA在腰椎退行性疾病中的变化,因为MRI对于肌肉轮廓显像更加清晰。MRI可靠性高,其观察者内及观察者间的一致性良好,而且优于CT测量^[7]。MRI研究多使用T2加权像,也有使用T1加权像,且研究证实T1和T2加权像测量CSA结果均可靠^[8-9]。CT也可测量腰背痛患者椎旁肌CSA,观察者内部可靠性可以被接受^[10]。此外,脊柱超声可评价不同部位的肌肉萎缩情况,是一种方便、可靠及可重复性强的方法^[11]。关于超声测量CSA的方法已有文章总结,超声与CT和MRI测量的结果存在差异,原因可能为超声测量无法区分肌间脂肪组织。

1.2 测量方法

测量CSA时研究者需要沿着肌肉边界手动画出感兴趣区域(region of interest, ROI),从而对不同肌肉进行分割。人工划线的优点是操作简单,可利用专业知识勾勒出肌肉边界。尽管不同研究者间存在主观差异,但已有研究证实人工划线具有良好的内在及外在信度^[12]。通常不测量腰大肌总CSA,因为其边界很难确定^[12]。关于测量FCSA时肌肉与脂肪组织的划分,有研究采用上述手动划线方法,也有许多研究采用阈值技术自动分割^[13]。阈值技术是基于肌肉和脂肪组织之间信号强度的差异鉴别两种组织,是一种可靠性高的方法。大部分关于肌肉分割的文献都采用MRI,而使用CT的研究报道较少。在一些临床研究中使用了公众可获得的软件进行肌肉分割,例如ImageJ或OsiriX。有研究证实这些软件在测量CSA和脂肪浸润时具有极好的一致性^[15]。

CSA测量方式较多,主要体现在测量平面的数量和位置选择不尽相同。有研究使用单一节段层面测量以代表整个腰椎区域^[14]。然而退变范围有时大于病变区域,即使在单节段神经根受压时椎旁肌也可呈现多节段退变,因此目前认为需要对椎旁肌进行多节段评估^[15]。关于平面测量

第一作者简介:男(1997-),博士研究生在读,研究方向:脊柱外科
电话:(010)82265313 E-mail:hangengyu@pku.edu.cn
通讯作者:李危石 E-mail:wslee72@163.com

数量,研究者在每个节段测量 1~2 个轴位平面不等^[15]。此外,CSA 测量平面位置在椎间盘中间平面^[16]、椎板中间^[17]、上/下终板^[18]、椎体中间^[18]均有报道。MRI 及 CT 测量以上/下终板或椎间盘中间平面较多。不同研究在测量平面方向上的选择也有差异。多数选择与椎体上/下终板平行^[19,20],也有研究利用 3D 重建图像测量与肌肉垂直的平面^[18,21]。此外,为了降低个体间体型差异引起的偏倚,多使用肌肉面积与相应节段椎间盘面积的比值来进行分析,定义为相对 CSA^[8,22]。

2 肌肉密度

常用 CT 值(hounsfield unit, HU)来评价肌肉密度^[23]。普遍认为,肌肉密度可反映个体的肌肉性能和身体机能。测量股四头肌肌肉成分发现,脂肪组织在肌肉中的渗透水平越高,其 CT 值越低,并与肌肉力量和功能下降有关^[24]。目前肌肉密度主要用于评估腰椎小关节骨性关节炎、椎体滑脱、椎间盘突出等多种腰椎退行性疾病^[1]。

2.1 测量工具

CT 测量肌肉密度具有独特的优势,因为其对脂肪组织内的质子含量敏感^[25]。腰大肌和竖脊肌 CT 值衰减与肌肉脂质含量增加的一致性良好^[26]。经肌肉活检对比,脂质浓度每增加 1g/100ml,CT 值降低 1HU^[26]。此外,研究证实 CT 测量不同椎旁肌的肌肉密度具有良好的一致性,且变异性较低^[25]。

2.2 测量方法

研究者可通过待测量肌肉中的 ROI 来获得具有代表性的肌肉密度。测量方式同样在评估区域及层面的选择上有很大的差异^[6]。关于 ROI 选择,一些研究测量了整块肌肉的平均密度^[27];另一些则测量肌肉中心一小部分 ROI 的 CT 值^[28]。研究可使用 5~6mm 的小圆圈多次在肌肉中心的不同部位取值,并保证圆圈内无可见脂肪组织^[28]。不同的是,有研究使用 3 次测量中的最高值代表肌肉密度^[28],也有研究计算 3 次测量的平均值(肌肉中心、内侧及外侧边缘部位)^[29]。

在测量时,CT 值会受到肌肉区域内水分值的影响。在大腿肌肉测量时,水分值相差 5HU 会导致测量的肌肉密度结果相差 15%^[30]。因此,为了进行精确的肌肉密度测量,应考虑使用校准体模与受试者一起进行扫描^[25]。此外,由于健康肌肉的密度更均一,因此 Kalichman 等^[31]提出将肌肉密度离散程度纳入 CT 值参数,将 CT 值/离散程度(standard deviation, SD)作为肌肉密度的新指标,称为放射性密度(radiographic density, RDR),可更全面地反映肌肉脂肪分布情况。

3 脂肪浸润

脂肪浸润表示肌肉内部被脂肪组织代替的程度。在椎旁肌中,脂质以肌肉间脂肪细胞的形式存储在肌肉群之间(肌肉外周)或是肌肉内部,这部分均为肌细胞外脂质

(extramyocellular lipid, EMCL),可由 CT/MRI 成像;另一部分可作为肌细胞内脂质(intramyocellular lipid, IMCL)将以液滴形式存储在肌肉细胞内^[25]。普遍认为脂肪浸润与肌肉力量下降及屈伸功能差有关^[1]。目前研究发现脂肪浸润与腰背痛、椎间盘突出、纤维环裂隙和脊椎滑脱等腰椎退行性变相关,常出现在病变最严重的部位,因此认为是肌肉退变的后期表现^[1,32]。

3.1 测量工具

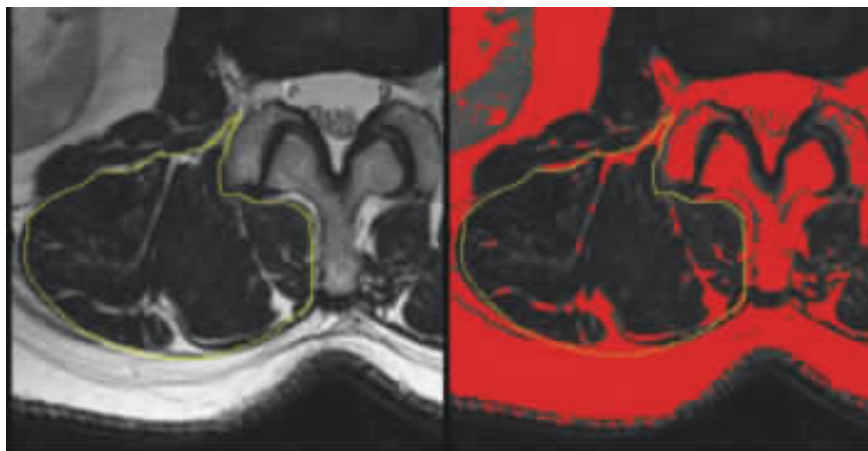
MRI 对软组织分辨率较高,因此是一种常用的无创测量脂肪浸润的工具。T2 加权像常用于脂肪浸润的定量测量^[33]。研究证实 MRI 测量与组织学检查发现的肌间脂肪组织沉积具有良好的一致性^[34]。此外, MRI 可靠性高,观察者间及观察者内的测量一致性良好^[7]。由于 MRI 的出现,目前很少使用 CT 进行脂肪浸润评估。但是研究显示 CT 测量脂肪浸润的观察者内和观察者间的可靠性可以被接受^[35]。

相比于常规 MRI,光谱分析 MRI(MR spectroscopy, MRS)、化学位移 MRI 及多回声 MRI 更适用于测量椎旁肌脂肪浸润。一方面,这三种 MRI 具有更好的精确性^[33]。研究发现 MRS、多回声 MRI 等测量结果与患者肌肉活检结果具有良好的相关性和可靠性^[36-38]。另一方面, MRS 可分别测量 IMCL 和 EMCL 含量^[28,37,39]。由于传统 MRI 无法区分 IMCL 和 EMCL,因此采用 MRS 可更好地研究不同部位脂肪浸润与椎旁肌退变的关系。研究发现椎旁肌肉力量的下降与 EMCL 积累相关^[40];而 IMCL 与慢性腰背痛和腰椎前凸有关,提示 IMCL 可作为预测腰背痛和脊柱畸形的新指标^[37]。

3.2 测量方法

测量脂肪浸润的关键在于区分肌肉和脂肪组织的边界,包括人工划线和阈值技术两种方式。阈值技术主要通过创建 ROI 内所有像素信号强度对应的频率分布直方图,识别出两种不同的信号强度峰值,将较低强度峰值的像素区域归为肌肉组织,较高强度峰值的像素区域归为脂肪组织^[41]。也有研究分别测量总 CSA 和皮下脂肪区域内的信号强度,以皮下脂肪信号强度为基准,将两者在同一频率分布直方图上对比,信号强度重叠区域即为总 CSA 内脂肪组织比例^[42]。另一种区分方法是伪着色技术(图 1),可通过 Image J 软件将脂肪组织的像素涂成红色,计算肌肉组织内红色面积的百分比,即为脂肪 CSA/总 CSA^[43]。

脂肪浸润的评估可分为半定量和定量评估。半定量评估更加直观,适用于临床评估脂肪浸润程度高的患者。Sorensen 等^[44]基于 MRI 将脂肪浸润程度分为三级:0 级, <10%脂肪浸润;1 级, 10%~50%脂肪浸润;2 级, >50%脂肪浸润;结果显示观察者内和观察者间的一致性均良好。Kalichman 等^[31]则基于 CT 提出相似的三级评分,该方法测量成年人时观察者内及观察者间的可靠性令人满意。也有研究利用三分位数将脂肪浸润分为正常/轻度,中度和重度^[45]。

图 1 伪着色技术^[43]

目前有多种定量指标来评估脂肪浸润,主要包括基于面积和基于信号强度两种方式。基于面积的指标包括 MRI 测量得到的 FCSA/总 CSA 或脂肪 CSA/总 CSA^[46]以及脂肪信号分数(fat signal fractions,FSF)^[45]。有研究发现,在腰椎间盘突出症患者中多裂肌 FCSA/总 CSA 在突出侧更小,认为 FCSA/总 CSA 能更好地预测退变的发展^[46]。FSF 则是利用 MRI 中脂肪像素占脂肪像素和肌肉像素总和的比例计算得到,FSF 越大则脂肪浸润越严重。基于信号强度的指标包括肌肉-脂肪指数^[48](muscle-fat-index,MFI)、MRI 信号强度^[46,47]、CT 值^[35]。MRI 纯肌肉组织的平均信号强度除以肌间脂肪组织的平均信号强度可算出 MFI,从而减少个体间及测量工具间的差异,优于 MRI 信号强度及 CT 值。有研究发现 MFI 在腰背痛患者双侧椎旁肌中均升高^[48]。也有研究利用肌肉组织的平均信号强度除以皮下脂肪组织的平均信号强度表示脂肪浸润^[47]。可同时将基于面积和信号两种参数作为脂肪浸润指标,其中 FSF 和 MFI 是较好的选择。

4 传统影像学评估方法的局限性

目前有多种传统影像学指标描述椎旁肌退变程度,均有各自的优势和局限性(表 1)。哪种指标最能反映椎旁肌退变的真实情况目前尚不清楚。一方面,CSA 减少及脂肪浸润与肌肉力量下降是否相关存在争议。椎旁肌双侧不对称多出现于腰部肌肉力量下降的人群中,但有研究发现至少 40% 的正常人双侧不对称程度超过 10%^[48]。关于脂肪浸润,有研究认为多裂肌肌间脂肪组织与肌肉功能没有关系^[49]。其次,传统影像学指标与腰背痛等临床症状出现是否相关尚不清楚。一篇系统综述认为慢性腰背痛患者椎旁肌是否发生脂肪浸润存在争议^[50]。一篇 Meta 分析^[51]认为腰背痛与总 CSA、FCSA 以及 FCSA/总 CSA 减少无关。第三,由于肌肉内部脂肪组织和肌细胞内脂质对肌肉影响不同,不同部位脂肪浸润与腰椎退变的关系需要更多研究来探讨。此外,缺乏传统影像学参数与肌纤维类型改变相关性的研究。目前肌肉活检是检测肌纤维类型改变的主要方

法。由于不同病因导致肌纤维类型变化不同,肌肉密度等影像学参数能否达到活检的检测精度还需要进一步研究。

另一方面,测量方式的不统一是不同研究结果难以比较的主要原因。虽然 Crawford 等^[51]提出有关椎旁肌测量的协议,但在不同测量工具、测量节段及平面的位置、方向以及 ROI 的选择上存在异质性。不同测量方式对影像学参数的影响以及能否准确反映病变节段导致的肌肉变化还需要进一步确定。特定节段的腰椎退变多选择测量同节段及尾侧相邻 1~2 个节段的椎旁肌^[46,52],而腰痛相关研究其测量节段的选择从 L2~S1 不等。影像学参数的多样性对于研究其临床价值也提出了挑战(表 1)。如脂肪浸润,其半定量评估方便直观,但精确性不如定量评估;而定量评估指标繁多。同时,在条件允许的情况下应使用 MRS 等精确度更高的新型 MRI 以及阈值技术进行椎旁肌测量。

5 新型影像学评估方法

近年来一些新型椎旁肌退变影像学评估方式或指标被提出,具有良好的研究前景。最近几项研究基于 MRI 或 CT 的 3D 重建技术测量椎旁肌体积及脂肪浸润程度^[52,53]。既往研究多基于特定切面对椎旁肌进行测量,然而无法表示肌肉整体情况,且受切面选择影响较大,而 3D 重建可以解决这个问题。研究者可使用 Muscl X 软件进行肌肉和椎管三维重建,利用轴向 MRI 图像,软件可生成每块肌肉的三维几何图形。Li 等^[54]的研究认为此肌肉重建方法有良好的可靠性。有研究发现肌肉体积与身高有关,与年龄无关;然而在腰椎退变相关性方面肌肉体积的代表性没有脂肪浸润好^[52]。

基于化学位移 MRI 衍生的椎旁肌质子密度脂肪分数(proton density fat fraction,PDFF)已成为肌少症、腰背痛和神经肌肉疾病患者脂肪浸润率的定量代替参数^[55]。利用分离得到的脂肪信号/(脂肪信号+水信号)可算出 PDFF。PDFF 结果与用 MRS 和组织学检测结果一致,而且可靠性好^[55]。研究发现 PDFF 与肌肉屈伸功能相关,在预测椎旁肌等长收缩能力方面优于 CSA^[55]。目前 PDFF 研究主要集中在

表 1 传统影像学评估方法优势与局限性对比

评估方式	指标	优势	局限性
横截面积	总 CSA	反映筋膜内肌肉量的变化	包含肌内脂肪组织;受 BMI 影响较大
	FCSA	反映纯肌肉量的变化	单独使用较少,多与总 CSA 作比值;需要排除肌间脂肪组织
	CSA 不对称性	反映双侧肌肉退变差异,与单侧椎间盘突出、脊柱侧凸等密切相关	正常人群中存在不对称
肌肉密度	CT 值	反映肌纤维密度,与个体肌肉性能相关	不如 MRI 信号强度精确;与肌纤维类型关联未知
	半定量-三级评分	直观区分脂肪浸润程度,适用于老年患者	截断值不定;年轻人群测量误差大
脂肪浸润	FCSA/总 CSA	基于面积的定量指标	需使用阈值技术
	FSF	基于面积的定量指标	需使用阈值技术
	MFI MRI 信号强度 CT 值	基于信号强度的定量指标	MRI 信号强度常用;MFI 测量要求高,但可减少个体间差异

在反映肌肉收缩能力上,其与腰椎退行性疾病的相关性需要进一步研究。

此外,Takayama 等^[56]提出了一种新的评价椎旁肌退变的指标腰椎压痕值(lumbar indentation value,LIV)。LIV 等于肌肉向棘突附着处隆起的长度,可代表左右椎旁肌间沟的深度。其优点在于可对椎旁肌进行快速评估。研究发现 LIV 随年龄增长逐渐减小,且在不同节段上均与椎旁肌 CSA 高度相关^[56]。LIV 主要反映脊柱弯曲程度,可作为三种传统指标之外的测量指标,与其他腰椎疾病是否相关需要进一步研究。

6 总结展望

传统影像学参数中椎旁肌 CSA 代表的肌肉数量和肌肉密度或脂肪浸润代表的肌肉质量,哪种对于解释腰椎疾病的发病过程和临床表现更加准确还需要进一步研究。测量方式的标准化将为不同研究的结果提供可比性。寻找新型影像学参数也将为揭示椎旁肌与腰椎退变疾病之间的关系做出贡献。总的来说,不同的影像学参数均应以肌肉性能及临床实用性作为考察指标,建立统一客观的椎旁肌退变影像学评价体系。同时应基于不同肌肉和疾病特征,建立正常及疾病演变过程中的椎旁肌影像学参数,以更好地构建腰椎退变疾病的预测模型。

7 参考文献

1. Kalichman L, Carmeli E, Been E. The association between imaging parameters of the paraspinal muscles, spinal degeneration, and low back pain[J]. Biomed Res Int, 2017, 2017: 2562957.
2. Vagaska E, Andasina T, Vohanka S, et al. Changes of paraspinal muscle morphology in patients with chronic non-specific low back pain[J]. Cesk Slov Neurol N, 2019, 82(5): 505-512.
3. Cooley JR, Walker BF, Mardakani 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. Bresnahan L, Fessler RG, Natarajan RN. Evaluation of change in muscle activity as a result of posterior lumbar spine surgery using a dynamic modeling system[J]. Spine, 2010, 35(16): E761-E767.
5. Fortin M, Gibbons LE, Videman T, et al. Do variations in paraspinal muscle morphology and composition predict low back pain in men[J]. Scand J Med Sci Sports, 2015, 25(6): 880-887.
6. 袁磊, 陈仲强, 曾岩, 等. 椎旁肌退变的影像学评价及其与腰椎疾病关系的研究进展[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(6): 572-576.
7. Hyun NSJ, Kim YJ, Rhim SC. Patients with proximal junctional kyphosis after stopping at thoracolumbar junction have lower muscularity, fatty degeneration at the thoracolumbar area [J]. Spine J, 2016, 16(9): 1095-1101.
8. D'hooge R, Cagnie B, Crombez G. Increased intramuscular fatty infiltration without differences in lumbar muscle cross-sectional area during remission of unilateral recurrent low back pain[J]. Manual Therapy, 2012, 17(6): 584-588.
9. Sions JM, Smith AC, Hicks GE, et al. Trunk muscle size and composition assessment in older adults with chronic low back pain: an intra-examiner and inter-examiner reliability study[J]. Pain Med, 2016, 17(8): 1436-1446.
10. Keller A, Gundereson R, Reikeras O, et al. Reliability of computed tomography measurements of paraspinal muscle cross-sectional area and density in patients with chronic low back pain[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2003, 28(13): 1455-1460.
11. Ranson CA, Burnett AF, Kerslake R, et al. An investigation into the use of MR imaging to determine the functional cross sectional area of lumbar paraspinal muscles [J]. Eur

- Spine J, 2006, 15(6): 764–773.
12. Xu WB, Chen S, Fan SW, et al. Facet orientation and tropism: associations with asymmetric lumbar paraspinal and psoas muscle parameters in patients with chronic low back pain[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2016, 29(3): 581–586.
 13. Fortin M, Battié MC. Quantitative paraspinal muscle measurements: inter-software reliability and agreement using OsiriX and ImageJ[J]. *Phys Ther*, 2012, 92(6): 853–864.
 14. Wan Q, Lin C, Li X, et al. MRI assessment of paraspinal muscles in patients with acute and chronic unilateral low back pain[J]. *Br J Radiol*, 2015, 88(1053): 20140546.
 15. Urrutia J, Besa P, Lobos D, et al. Is a single-level measurement of paraspinal muscle fat infiltration and cross-sectional area representative of the entire lumbar spine [J]. *Skeletal Radio*, 2018, 47(7): 939–945.
 16. Kim WH, Lee SH, Lee DY. Changes in the cross-sectional area of multifidus and psoas in unilateral sciatica caused by lumbar disc herniation[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2011, 50(3): 201–204.
 17. Chan ST, Fung PK, Ng NY, et al. Dynamic changes of elasticity, cross-sectional area, and fat infiltration of multifidus at different postures in men with chronic low back pain [J]. *Spine J*, 2012, 12(5): 381–388.
 18. Sions JM, Velasco TO, Teyhen DS, et al. Reliability of ultrasound imaging for the assessment of lumbar multifidus thickness in older adults with chronic low back pain [J]. *J Geriatr Phys Ther*, 2015, 38(1): 33–39.
 19. Urrutia J, Besa P, Lobos D, et al. Lumbar paraspinal muscle fat infiltration is independently associated with sex, age, and inter-vertebral disc degeneration in symptomatic patients [J]. *Skeletal Radiol*, 2018, 47(7): 955–961.
 20. Zhong Y, Liu J, Zhou W, et al. Relationship between straight leg-raising test measurements and area of fat infiltration in multifidus muscles in patients with lumbar disc herniation[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2020, 33(1): 57–63.
 21. Anderson DE, Quinn E, Parker E, et al. Associations of computed tomography-based trunk muscle size and density with balance and falls in older adults[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2016, 71(6): 811–816.
 22. Bok DH, Kim J, Kim TH. Comparison of MRI-defined back muscles volume between patients with ankylosing spondylitis and control patients with chronic back pain: age and spinopelvic alignment matched study[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(2): 528–537.
 23. Lee SH, Park SW, Kim YB, et al. The fatty degeneration of lumbar paraspinal muscles on computed tomography scan according to age and disc level[J]. *Spine J*, 2017, 17(1): 81–87.
 24. Goodpaster BH, Carlson CL, Visser M, et al. Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The Health ABC Study[J]. *J Appl Physiol*(1985), 2001, 90(6): 2157–2165.
 25. Engelke K, Museyko O, Wang L, et al. Quantitative analysis of skeletal muscle by computed tomography imaging—State of the art[J]. *J Orthop Translat*, 2018, 15: 91–103.
 26. Goodpaster BH, Kelley DE, Thaete FL, et al. Skeletal muscle attenuation determined by computed tomography is associated with skeletal muscle lipid content [J]. *J Appl Physiol*, 2000, 89(1): 104–110.
 27. Hicks GE, Simonsick EM, Harris TB, et al. Cross-sectional associations between trunk muscle composition, back pain, and physical function in the health, aging and body composition study[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2005, 60(7): 882–887.
 28. Kalichman L, Hodges P, Li L, et al. Changes in paraspinal muscles and their association with low back pain and spinal degeneration: CT study[J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(7): 1136–1144.
 29. Abbas J, Slon V, May H, et al. Paraspinal muscles density: a marker for degenerative lumbar spinal stenosis [J]. *Bmc Musculoskelet Disord*, 2016, 10, 17(1): 422.
 30. Muhlberg A, Museyko O, Laredo JD, et al. A reproducible semi-automatic method to quantify the muscle-lipid distribution in clinical 3D CT images of the thigh[J]. *PLoS One*, 2017, 12(4): e0175174.
 31. Kalichman L, Klindukhov A, LI L, et al. Indices of paraspinal muscles degeneration: reliability and association with facet joint osteoarthritis: feasibility study[J]. *Clin Spine Surg*, 2016, 29(9): 465–470.
 32. Crawford RJ, Volken T, Valentin S, et al. Rate of lumbar paravertebral muscle fat infiltration versus spinal degeneration in asymptomatic populations: an age-aggregated cross-sectional simulation study[J]. *Scoliosis Spinal Disord*, 2016, 11: 21.
 33. Zhao Y, Huang M, Sosa MS, et al. Fatty infiltration of paraspinal muscles is associated with bone mineral density of the lumbar spine[J]. *Arch Osteoporos*, 2019, 14(1): 99.
 34. Tamai K, Chen J, Stone M, et al. The evaluation of lumbar paraspinal muscle quantity and quality using the Goutallier classification and lumbar indentation value [J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(5): 1005–1012.
 35. Lee SH, Park SW, Kim YB, et al. The fatty degeneration of lumbar paraspinal muscles on computed tomography scan according to age and disc level[J]. *Spine J*, 2017, 17(1): 81–87.
 36. Fischer MA, Nanz D, Shimakawa A, et al. Quantification of muscle fat in patients with low back pain: comparison of multi-echo MR imaging with single-voxel MR spectroscopy [J]. *Radiology*, 2013, 266(2): 555–563.
 37. 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.
38. Grimm A, Meyer H, Nickel MD, et al. A comparison between 6-point Dixon MRI and MR spectroscopy to quantify muscle fat in the thigh of subjects with sarcopenia [J]. *J Frailty Aging*, 2019, 8(1): 21–26.
39. Yanik B, Keyik B, Conkbayir I. Fatty degeneration of multifidus muscle in patients with chronic low back pain and in asymptomatic volunteers: quantification with chemical shift magnetic resonance imaging[J]. *Skeletal Radiol*, 2013, 42(6): 771–778.
40. Velan SS, Said N, Durst C, et al. Distinct patterns of fat metabolism in skeletal muscle of normal-weight, overweight, and obese humans [J]. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2008, 295(4): R1060–1065.
41. Li H, Wang H, Zhu Y, et al. Incidence and risk factors of posterior cage migration following decompression and instrumented fusion for degenerative lumbar disorders[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(33): e7804.
42. Jun HS, Kim JH, Ahn JH, et al. The effect of lumbar spinal muscle on spinal sagittal alignment: evaluating muscle quantity and quality[J]. *Neurosurgery*, 2016, 79(6): 847–855.
43. Lee JC, Cha JG, Kim Y, et al. Quantitative analysis of back muscle degeneration in the patients with the degenerative lumbar flat back using a digital image analysis: comparison with the normal controls[J]. *Spine*, 2008, 33(3): 318–325.
44. Sorensen SJ, Kjaer P, Jensen ST, et al. Low-field magnetic resonance imaging of the lumbar spine: reliability of qualitative evaluation of disc and muscle parameters[J]. *Acta Radiol*, 2006, 47(9): 947–953.
45. Hebert JJ, Kjaer P, Fritz JM, et al. The relationship of lumbar multifidus muscle morphology to previous, current, and future low back pain: a 9-year population-based prospective cohort study[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2014, 39 (17): 1417–1425.
46. Fortin M, Lazary A, Varga PP, et al. Paraspinal muscle asymmetry and fat infiltration in patients with symptomatic disc herniation[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(5): 1452–1459.
47. Hyun SJ, Bae CW, Lee SH, et al. Fatty degeneration of the paraspinal muscle in patients with degenerative lumbar kyphosis a new evaluation method of quantitative digital analysis using MRI and CT scan[J]. *Clin Spine Surg*, 2016, 29(10): 441–447.
48. Batie MC, Niemelainen R, Gibbons LE, et al. Is level- and side-specific multifidus asymmetry a marker for lumbar disc pathology[J]. *Spine J*, 2012, 12(10): 932–939.
49. Le Cara EC, Marcus RL, Dempsey AR, et al. Morphology versus function: the relationship between lumbar multifidus intramuscular adipose tissue and muscle function among patients with low back pain[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2014, 95(10): 1846–1852.
50. Goubert D, Oosterwijck JV, Meeus M, et al. Structural changes of lumbar muscles in non-specific low back pain: a systematic review[J]. *Pain physician*, 2016, 19(7): E985–E1000.
51. Crawford RJ, 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.
52. Boissiere L, Moal B, Gille O, et al. Lumbar spinal muscles and spinal canal study by MRI three-dimensional reconstruction in adult lumbar spinal stenosis [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2017, 103(2): 279–283.
53. Strube P, Putzier M, Streitparth F, et al. Postoperative posterior lumbar muscle changes and their relationship to segmental motion preservation or restriction: a randomized prospective study[J]. *J Neurosurg Spine*, 2016, 24(1): 25–31.
54. Li F, Laville A, Bonneau D, et al. Study on cervical muscle volume by means of three-dimensional reconstruction [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2014, 39(6): 1411–1416.
55. Schlaeger S, Inhuber S, Rohrmeier A, et al. Association of paraspinal muscle water-fat MRI-based measurements with isometric strength measurements[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(2): 599–608.
56. Takayama K, Kita T, Nakamura H, et al. New predictive index for lumbar paraspinal muscle degeneration associated with aging[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2016, 41(2): E84–E90.

(收稿日期:2020-03-25 修回日期:2020-06-04)

(本文编辑 李伟霞)