

综述

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

Advance on the evaluation of paraspinal muscles with imaging techniques and the association with lumbar vertebra disease

袁磊¹, 陈仲强¹, 曾岩¹, 陈萧霖², 喻剑舟³

(1 北京大学第三医院骨科 100191 北京市; 2 重庆医科大学附属第二医院骨科 400010 重庆市;

3 武汉大学人民医院骨科 430060 湖北省武汉市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.06.13

中图分类号: R681.5, R604 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2018)-06-0572-05

腰椎周围的主要肌肉分为前后两群, 前群主要包括腰大肌、腰小肌和腰方肌, 后群主要为多裂肌、竖脊肌、半棘肌、回旋肌和横突间肌, 竖脊肌又称为骶脊肌, 包括髂肋肌、最长肌、棘肌, 而目前针对腰部椎旁肌的研究主要集中在腰大肌、多裂肌和竖脊肌。椎旁肌对维持脊柱的稳定性起着重要作用, 椎旁肌退变与多种腰椎疾病及术后并发症的发生发展存在相关性^[1]。影像学检测椎旁肌退变主要有三个征象: 肌肉量(size)下降、放射图像密度下降及脂肪堆积增加^[2]。利用 B 超、CT 和 MRI 等影像学技术研究椎旁肌的变化, 可以从多方面描述腰部椎旁肌在腰椎退行性疾病中的变化。笔者就影像学评价椎旁肌退变在临床上的应用以及椎旁肌退变与腰椎疾病的关系进行文献综述。

1 椎旁肌退变的影像学评价方法

目前对椎旁肌的形态学研究多使用 CT、MRI 和超声(US)等技术, MR 光谱分析、化学位移 MRI^[3]、多回波 MRI 也用于研究椎旁肌的脂肪浸润^[4]。CT 可以提供如肌肉密度、横截面积(CSA)及脂肪浸润等信息, 可重复性好, 肌肉量减少及脂肪沉积增加是 CT 可见的肌肉退变征象^[5]。MRI 可以测量肌肉 CSA 及脂肪浸润, 可靠性高, 观察者间及观察者内的测量一致性良好^[6]。Schilling 等^[7]发现脂肪-水比率的光谱结果与患者肌肉活检的组织学结果有很好的相关性, 认为 MR 光谱分析是诊断腰背部肌肉组织代谢性改变的一个建设性方法。Fischer 等^[8]利用多回波 MRI 量化多裂肌脂肪含量, 与 MR 光谱分析测量脂肪含量具有一致性。最近有研究者使用 MRI 或 CT 3D 重建技术评价患者的椎旁肌体积及脂肪浸润程度^[9,10], 发现与测量 CSA 不同, 肌肉体积不受年龄、体重、体重指数(BMI)等的影响, 但是 3D 重建方法目前使用较少, 需进一步验证。应用超声测量

肌肉量可以精确地评价不同肌肉萎缩情况, 超声检查是一种方便、可靠及可重复性强的方法, 可用于不同人群的比较^[11]。

椎旁肌 CSA 减少表明椎旁肌萎缩, 而脂肪浸润的增加反映肌肉的脂肪退变。肌肉 CSA、肌肉密度及脂肪浸润是影像学评价椎旁肌常用的三个参数。CT、MRI 及超声都可以测量肌肉 CSA。测量 CSA 时研究者需要沿着肌肉边界画出感兴趣区域(ROI), 尽管这种划线存在一定的主观性, 但是有研究证实这种办法有良好的内在及外在信度^[12]。有研究测量包括脂肪的肌肉总 CSA, 也有研究测量不包括邻近退变脂肪称为功能性 CSA 的纯肌肉面积^[13]。为了降低个体间差异多使用肌肉面积与相应椎体面积的比值来进行分析^[13,14], 纯肌肉组织的面积及比率被认为能更有效地反映真实的肌肉萎缩情况。肌肉 CSA 测量平面也不尽相同, 一些研究每个椎体仅测一个平面, 而另一些报道从 L1 到 S1 共测量了 11 个平面; 在每个椎体测一个平面的研究中, CSA 测量位置在椎间盘中间平面、椎板中间、上/下终板、椎体中间均有报道, 而且在层面方向选择上也存在差异, 有些研究选择与椎体上/下终板平行, 也有研究利用 CT 重建图像测量与肌肉/肌纤维垂直的平面^[12,15,16]。但是仅对肌肉 CSA 的评价不能诊断肌肉萎缩, 因为肌肉可以被肌间脂肪及纤维组织替代, 所以还需要测量脂肪浸润。

肌肉密度通常采用 CT 测量^[17], 大多数研究使用 CT 值(HU)评价肌纤维密度。测肌肉密度时, 与测 CSA 一样, 评估层面及层面的方向均有很大差异, 而且一些研究测量了整个肌肉的密度, 而另一些则仅测量了肌肉中心的一小部分^[16,18,19]。因此, 很难比较不同研究中正常及异常的肌肉密度参数。

衰老导致肌肉肌量下降, 被非收缩性结缔组织取代, 这种年龄相关的肌肉萎缩是因为肌纤维大小和数量同时降低。这种变化主要发生在快缩肌纤维(Ⅱx 型), 这是一个缓慢进行性的神经源性过程。去神经支配及肌肉废用是椎旁肌的萎缩及脂肪浸润的两种机制^[20]。在动物实验中, 普遍认为去神经支配导致Ⅱ型肌肉纤维减少, 而Ⅰ型肌肉

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(编号: 7162198)

第一作者简介: 男(1991-), 博士研究生, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)82267011 E-mail: yuanleipku@163.com

通讯作者: 陈仲强 E-mail: puh3_czq@bjmu.edu.cn

纤维去神经支配后的变化尚有争议^[21]。有研究表明,由于神经根受压而致的去神经支配可能会导致 I 型及 II 型肌肉纤维萎缩,使腰椎多裂肌的结构发生变化^[22]。肌源性成体干细胞的分化潜能随着年龄变化而改变,其分化为脂肪细胞而不是肌肉细胞,进而导致肌间的脂肪组织聚集^[23]。也有研究者使用从椎旁肌总量中减去不含脂肪的肌肉含量来计算脂肪浸润率(FIR)^[24],但是测量纯肌肉面积操作更加复杂、难度更大,而基于像素信号强度(SI)的差异,阈值技术已经被证明可以有效地将肌肉从清晰可见的脂肪沉积中分离出来^[15]。还有研究者使用肌肉与脂肪的 MRI 平均信号强度之比(肌肉-脂肪指数)评价肌肉的脂肪浸润,以便减小不同个体间 MRI 质量的差异^[25]。

MRI、MR 光谱分析及超声均可无创测量肌肉脂肪浸润,可以分为视觉半定量评估和定量测量。Solgaard 等^[26]将成年人脂肪浸润分为三级:0 级,无脂肪;1 级,轻度浸润;2 级,重度浸润。Kalichman 等^[19]的分级更加量化一些:1 级,正常的肌肉状况,脂肪浸润不超过肌肉 CSA 的 10%;2 级,中度肌肉退变,10%~50%脂肪浸润;3 级,重度肌肉退变,>50%脂肪浸润。该方法用于成年人时,观察者内和观察者间的可靠性令人满意;然而对于青少年,这种对脂肪浸润的视觉评价是不尽人意的,因为仅仅通过目视检查很难确定肌肉中脂肪浸润的程度。最近,有多个研究量化评价椎旁肌脂肪浸润,虽然采用的测量方法不尽相同,但主要使用两个评价指标:①脂肪 CSA 与总 CSA 的比值;②MRI 信号强度^[27,28]。也有研究^[29]直接利用脂肪面积作为脂肪浸润指标。

由于 MRI 对于肌肉轮廓显像更加清晰,脂肪分辨率更高,肌肉力量与肌肉 CSA 成正比,而且肌肉 CSA 的测量通常被用来评估腰部肌肉力量,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,这对于腰椎退行性疾病的诊断具有重要作用^[30]。

2 正常人群中的椎旁肌退变

大部分研究均提示多裂肌及竖脊肌的 CSA 以及 CT 测量的肌肉密度随着年龄的增加而下降,脂肪浸润率随着年龄的增加而增加,并且发现这种肌肉的退变是从下腰椎开始向头侧椎体水平逐渐发生。竖脊肌退变发生更早,并且退变比多裂肌更加严重;而腰大肌则无上述变化规律,与腰大肌相对于竖脊肌及多裂肌而言承担更少的应力有关^[4,19,31,32]。虽然研究发现了上述的变化,但是这种结果与肌肉的实际功能是否相关还尚存疑^[17,33]。有超声研究显示,多裂肌大小和年龄之间没有联系;也有报道显示随着年龄的增长肌肉超声在更大回声强度有差别^[11,34]。超声与 CT/MRI 的结果差异可能是因为 CSA 的评价方法不同造成的,通常在 CT/MRI CSA 测量中不测量脂肪部分,但在超声的评估中,测量的是整个区域(包括脂肪)。男性的椎旁肌面积及密度高于女性^[4,19],脂肪浸润率较女性低,但 50 岁以下群体的腰大肌脂肪浸润率无显著性差异^[33]。Stokes

等^[11]的一项超声研究发现男性多裂肌 CSA 显著大于女性,但是利用体重标准化后没有出现显著性差异。Kalichman 等^[4]发现肌肉密度与 BMI 存在弱的负相关;但是肌肉 3D 重建发现肌肉体积和身高相关而与 BMI 无显著相关性^[9]。另外,其他个人因素(如吸烟、糖尿病、心血管疾病、活动量等)也有可能影响肌肉的 CSA 和脂肪浸润,需要更多的研究评估这些影响。但总体上,男性比女性、年轻人较老年人、瘦的个体比 BMI 大的个体椎旁肌肉密度高^[9]。健康人群从上腰椎往下,多裂肌 CSA 逐渐变大,而竖脊肌 CSA 变化则相反^[12,27,35]。

3 椎旁肌退变与脊柱疾病的关系

Kim 等^[36]报道腰椎间盘突出引起的单侧坐骨神经痛患者的病变侧多裂肌 CSA 减少,并且 CSA 的减少与神经压迫的持续时间有关。这可能是由于椎间盘突出挤压了神经根导致多裂肌去神经支配及后腰痛,从而使多裂肌废用性萎缩^[22]。Yoshihara 等^[37]发现在 L4/5 椎间盘突出患者患侧多裂肌 I 型肌纤维(慢缩肌纤维、慢氧化纤维)及 II 型肌纤维(IIx/MHC-2X 纤维,快解糖纤维)的大小在 L5 肌肉带明显减小。这些结果提示,神经根损伤可能导致 I 型和 II 型/MHC-2X 纤维的萎缩,多裂肌的结构变化仅发生在有关的平面上。总之,椎间盘突出压迫神经所支配节段的椎旁肌,使 CSA 减小,肌肉密度下降, I 型及 II 型肌纤维/MHC-2X 纤维的体积减小。

Kalichman 等^[4]发现 L4 水平竖脊肌的密度下降与同一平面的腰椎滑脱有显著相关。Thakar 等^[3]研究了椎弓峡部裂性腰椎滑脱(IS)患者,与对照组相比 IS 患者的多裂肌有选择性萎缩,而其竖脊肌则代偿性肥大。多裂肌萎缩可能是腰椎滑脱的发病原因,而竖脊肌代偿性肥大可能是弥补腰椎不稳定的一种代偿机制。Fortin 等^[38]也发现多裂肌脂肪浸润增加、腰大肌的相对 CSA 减小与 LSS 患者功能差(较高的 ODI 评分和疼痛评分)有关,但是椎旁肌参数与腰椎管狭窄程度、腰腿疼的患病时长或严重程度无关。

以肌肉萎缩及脂肪浸润为特征的椎旁肌退变与腰背痛紧密相关。Fortin 等^[39]系统综述了关于腰背部疼痛患者及对照组患者椎旁肌形态的研究,结果显示慢性腰背痛患者的椎旁肌 CSA 显著性小于对照组患者。但是 Teichtahl 等^[40]对 72 例社区居民调查研究发现,椎旁肌的脂肪浸润与腰背痛有关,而横截面积无关。Sasaki 等^[33]对年龄、性别、BMI 等校正后的 Logistic 回归分析发现,尽管在所有平面都发生了脂肪退变,但是仅在 L1/2 及 L2/3 平面的竖脊肌脂肪浸润率和腰部疼痛显著相关,但其比值比(OR)为 1.05,并不高。这可能是由于不同研究的样本量、研究人群特征不同,造成了研究结果的不一致性。这些研究结果提示椎旁肌退变可能并不是直接导致腰背部疼痛的原因。

邱勇等^[41]发现特发性脊柱侧凸患者凹侧椎旁肌平均 CSA 明显小于凸侧。姜横^[42]的研究也发现了相同结果,并且指出凹侧肌肉脂肪浸润率更高,两侧多裂肌中 miRNA-

517、516、495 有差异表达,说明可能表观遗传因素也参与了对椎旁肌不平衡的调节。椎旁伸肌(竖脊肌及多裂肌)脂肪退变程度与腰椎前凸角(LL)的丢失、胸椎后凸角(TK)的减小、矢状位垂直轴(SVA)增加具有显著相关性^[43]。李启光等^[44]发现骨盆后倾程度随竖脊肌脂肪浸润程度的增加而增加,下腰椎前凸随竖脊肌加上多裂肌的脂肪浸润程度增加而减小,竖脊肌和多裂肌的萎缩程度与骨盆倾斜和下腰椎前凸不相关。提示椎旁肌退变可能是脊柱畸形的病因之一。Resorlu 等^[45]发现强直性脊柱炎(AS)患者的竖脊肌及多裂肌发生了脂肪变性和萎缩,并且与患病时间有关。Bok 等^[44]发现椎旁肌体积减少与 AS 的后凸畸形显著相关,而且无脊柱畸形的 AS 患者椎旁肌体积已减少,该结果支持 AS 患者椎旁肌退变和后凸畸形的因果关系。

有很多研究都关注了术前椎旁肌参数与疾病或并发症的关系,但是对术后椎旁肌变化的研究较少。Pourtaheri 等^[46]综述了 529 例脊柱术后的患者资料,结果表明腰椎融合比非融合、后路融合比前路融合、传统融合比微创融合术后椎旁肌萎缩显著,但是微创减压与非微创减压相比没有显著性差异。一项随机对照研究(RCT)^[10]表明,同样是腹膜后入路,前路腰椎椎间融合(ALIF)与椎间盘置换术(TDR)术后 12 个月与术后 1 周相比,椎旁肌体积均略减小,脂肪含量轻度增加,ALIF 组患者术后邻近节段的肌肉萎缩与脂肪含量增加程度明显低于 TDR 患者,但是两组患者术后的疼痛与功能评分没有显著性差异。这说明融合术虽限制了相应节段运动,但对椎旁肌及临床症状没有显著的负面影响。另一项 RCT 研究^[47]发现,微创椎间孔腰椎间融合术(miTLIF)与传统后路椎间融合术(coPLIF)在手术节段对竖脊肌损伤影响相似,但是 coPLIF 组患者多裂肌萎缩及退变明显增加,两种术式术后邻近节段的肌肉萎缩与脂肪浸润增加相似。

如果椎旁肌没有足够力量维持脊柱的直立姿势,可能会加速椎间盘及关节突的退变。一项回顾性对照研究^[48]发现,术前椎旁肌脂肪退变、CSA 减小是术后邻近节段病变(ASD)发生的重要影响因素。但是 Wang 等^[49]对行后路减压内固定融合的退行性腰椎疾病患者研究结果显示,发生 ASD 组患者和未发生 ASD 组患者的术前竖脊肌与多裂肌退变没有显著性差异,但是该研究使用的椎旁肌脂肪浸润率并未考虑患者个体因素的影响,而且该研究中仅 15 例患者发生 ASD,出现并发症组样本量过少也可能会对结果造成一定的影响。一项对行后路减压内固定融合的腰椎间盘突出症患者的回顾性研究^[20]发现,术后持续性腰痛患者的术前腰背肌脂肪浸润率明显高于非持续性腰痛患者,多元逻辑回归模型分析发现脂肪浸润率>15%与术后持续性腰痛独立相关。该研究提示术前椎旁肌严重退变的患者应该充分告知其术后发生持续性腰痛的风险。Li 等^[24]回顾性研究了退行性腰椎疾病患者行减压内固定融合术后 cage 移位情况,发现 cage 移位组术前椎旁肌退变明显多于非移位组。术前椎旁肌肌力的下降及脂肪退变的增加会导致

交界性后凸畸形(PJK)的发生^[6]。有文献^[50]报道多裂肌及竖脊肌的 CSA 面积减小及 MRI 信号强度增加是椎弓根螺钉松动的危险因素。

4 总结与展望

目前有大量研究报道了椎旁肌退变的影像学评价及其与腰椎疾病的关系,但是评价体系不统一,采用不同方法评估椎旁肌退变,使得不同研究之间的结果难以比较。未来的研究应该考虑到年龄和性别差异,以适用性及临床相关性作为目标,建立统一的评价体系,建立不同性别及不同年龄正常的椎旁肌参数。椎旁肌退变与多种腰椎疾病及术后并发症的发生有关,需要引起临床医生更多的关注,也需要进一步的大样本量研究证明椎旁肌与腰椎疾病的因果关系。腰椎手术在一定程度上会引起椎旁肌的退变,临床医生在选择腰椎手术方案时应该考虑椎旁肌损伤后对患者预后的影响;腰背肌锻炼可能会延缓椎旁肌的退变,但是仍需要更高水平的临床研究探讨椎旁肌退变与个人活动、手术、腰椎疾病等的关系,指导临床相关疾病的治疗。

5 参考文献

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Laasonen EM. Atrophy of sacrospinal muscle groups in patients with chronic, diffusely radiating lumbar back pain [J]. Neuroradiology, 1984, 26(1): 9-13.
- Hyun SJ, 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.
- Schilling AM, Heidenreich JO, Schulte T, et al. Changes of the fat/water ratio in the erector trunci muscle in patients with lumbar disc herniation: a comparative study with 1H-MRS[J]. Rofo, 2004, 176(2): 229-233.
- 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.
9. 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.
 10. Strube P, Putzier M, Streitharth 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.
 11. Stokes M, Rankin G, Newham DJ. Ultrasound imaging of lumbar multifidus muscle: normal reference ranges for measurements and practical guidance on the technique [J]. *Man Ther*, 2005, 10(2): 116-126.
 12. 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.
 13. 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.
 14. 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.
 15. D'hooge R, Cagnie B, Crombez G, et al. Increased intramuscular fatty infiltration without differences in lumbar muscle cross-sectional area during remission of unilateral recurrent low back pain[J]. *Man Ther*, 2012, 17(6): 584-588.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.
 19. 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.
 20. Wang H, Wang T, Wang Q, et al. Incidence and risk factors of persistent low back pain following posterior decompression and instrumented fusion for lumbar disk herniation [J]. *J Pain Res*, 2017, 10: 1019-1025.
 21. Bishop DL, Milton RL. The effects of denervation location on fiber type mix in self-reinnervated mouse soleus muscles [J]. *Exp Neurol*, 1997, 147(1): 151-158.
 22. 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.
 23. Vettor R, Milan G, Franzin C, et al. The origin of intermuscular adipose tissue and its pathophysiological implications[J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2009, 297(5): E987-E998.
 24. 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.
 25. Suh DW, Kim Y, Lee M, et al. Reliability of histographic analysis for paraspinal muscle degeneration in patients with unilateral back pain using magnetic resonance imaging[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2017, 30(3): 403-412.
 26. Solgaard Sorensen J, 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.
 27. 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.
 28. 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.
 29. 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.
 30. 乔培柳, 塔依尔·阿不都哈德尔. 腰椎退行性疾病椎旁肌的渐进变化[J]. *中国组织工程研究*, 2014, 18(44): 7205-7210.
 31. Thakar S, Sivaraju L, Aryan S, et al. Lumbar paraspinal muscle morphometry and its correlations with demographic and radiological factors in adult isthmic spondylolisthesis: a retrospective review of 120 surgically managed cases [J]. *J Neurosurg Spine*, 2016, 24(5): 679-685.
 32. Mannion AF, Kaser L, Weber E, et al. Influence of age and duration of symptoms on fibre type distribution and size of the back muscles in chronic low back pain patients[J]. *Eur Spine J*, 2000, 9(4): 273-281.
 33. Sasaki T, Yoshimura N, Hashizume H. MRI-defined paraspinal muscle morphology in Japanese population: The Wakayama Spine Study [J]. *PLoS One*, 2017, 12(11): 1-11.

- e0187765.
34. Ikezoe T, Mori N, Nakamura M, et al. Effects of age and inactivity due to prolonged bed rest on atrophy of trunk muscles[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112(1): 43–48.
35. Sions JM, Velasco TO, Teyhen DS, et al. Reliability of ultrasound imaging for the assessment of lumbar multifidi thickness in older adults with chronic low back pain [J]. *J Geriatr Phys Ther*, 2015, 38(1): 33–39.
36. 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.
37. Yoshihara K, Shirai Y, Nakayama Y, et al. Histochemical changes in the multifidus muscle in patients with lumbar intervertebral disc herniation[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2001, 26(6): 622–626.
38. Fortin M, Lazary A, Varga PP, et al. Association between paraspinal muscle morphology, clinical symptoms and functional status in patients with lumbar spinal stenosis [J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(10): 2543–2551.
39. Fortin M, Macedo LG. Multifidus and paraspinal muscle group cross-sectional areas of patients with low back pain and control patients: a systematic review with a focus on blinding[J]. *Phys Ther*, 2013, 93(7): 873–888.
40. Teichtahl AJ, Urquhart DM, Wang Y, et al. Fat infiltration of paraspinal muscles is associated with low back pain, disability, and structural abnormalities in community-based adults[J]. *Spine J*, 2015, 15(7): 1593–1601.
41. 邱勇, 吴亮, 王斌, 等. 特发性脊柱侧凸两侧椎旁肌的影像学差异及其临床意义[J]. *中华骨科杂志*, 2006, 26(4): 228–231.
42. 姜横. 青少年特发性脊柱侧凸两侧椎旁肌的不平衡及其形成机制研究[D]. 第二军医大学, 2017.
43. 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.
44. 李启光. 下腰椎椎旁肌退变与脊柱骨盆力线的相关性分析[D]. 山东大学, 2016.
45. Resorlu H, Savas Y, Aylanc N, et al. Evaluation of paravertebral muscle atrophy and fatty degeneration in ankylosing spondylitis[J]. *Mod Rheumatol*, 2017, 27(4): 683–687.
46. Pourtaheri S, Issa K, Lord E, et al. Paraspinal muscle atrophy after lumbar spine surgery[J]. *Orthopedics*, 2016, 39(2): e209–214.
47. Putzier M, Hartwig T, Hoff EK, et al. Minimally invasive TLIF leads to increased muscle sparing of the multifidus muscle but not the longissimus muscle compared with conventional PLIF: a prospective randomized clinical trial[J]. *Spine J*, 2016, 16(7): 811–819.
48. Denis F, Sun EC, Winter RB. Incidence and risk factors for proximal and distal junctional kyphosis following surgical treatment for Scheuermann kyphosis: minimum five-year follow-up[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(20): E729–734.
49. Wang H, Ma L, Yang D, et al. Incidence and risk factors of adjacent segment disease following posterior decompression and instrumented fusion for degenerative lumbar disorders[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2017, 96(5): e6032.
50. Ameri E, Behtash H, Mobini B, et al. The prevalence of distal junctional kyphosis following posterior instrumentation and arthrodesis for adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Acta Med Iran*, 2011, 49(6): 357–363.

(收稿日期:2018-01-14 末次修回日期:2018-06-01)

(本文编辑 卢庆霞)