

论 著

(临床研究)

# 基于剪切波超声弹性成像评价正常成人腹横肌杨氏模量值

宋旭光, 许华宁, 何玉冰, 徐道明

**【摘要】 目的** 利用剪切波超声弹性成像技术评价正常成人腹横肌杨氏模量值, 观察腹横肌收缩功能, 为评价非特异性下腰痛患者腹横肌状态提供参照依据。 **方法** 选取 60 例健康受试者, 测量腹横肌杨氏模量值和厚度, 按静息状态和激活状态, 分别记录数据并进行统计学分析, 比较腹横肌杨氏模量值测量的可重复性, 不同功能状态下杨氏模量值的差异以及不同变量间的相关性。 **结果** 腹横肌杨氏模量值测量可信度较好 ( $ICC=0.588\sim0.789$ )。不同功能状态下腹横肌杨氏模量值差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。腹横肌杨氏模量值与厚度之间无相关关系 ( $r=0.075/-0.051, P>0.05$ )。腹横肌杨氏模量值(静息状态):  $8.27\sim9.08$  kPa; 腹横肌杨氏模量值(激活状态):  $17.49\sim19.15$  kPa; 腹横肌厚度(静息状态):  $0.29\sim0.32$  cm; 腹横肌厚度(激活状态):  $0.45\sim0.49$  cm。 **结论** 剪切波弹性成像技术测量腹横肌硬度可信度较好, 不同功能状态下差异明显, 可作为腹横肌功能状态评估相对独立的新方法。

**【关键词】** 剪切波弹性成像; 腹横肌; 杨氏模量; 厚度

**【中图分类号】** R445.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-271X(2020)05-0481-06

**【DOI】** 10.3969/j.issn.1672-271X.2020.05.007

## Application of shear-wave ultrasound elastography for transversus abdominis in normal adults

SONG Xu-guang, XU Hua-ning, HE Yu-bing, XU Dao-ming

(Department of Ultrasonic, Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, Jiangsu, China)

**【Abstract】 Objective** To provide a new method for the functional evaluation of transverse abdominis and a reference in patients with non-specific low back pain, Young's moduli of transverse abdominis was measured by shear-wave ultrasound elastography in normal adults. **Methods** Sixty healthy subjects were enrolled to measure Young's modulus and thickness of transversus abdominis. To study the repeatability among operators, the difference of Young's modulus in different functional states and the correlation between variables, the data were recorded and statistically analyzed according to the resting state and contracted state. **Results** Young's modulus of transverse abdominis between operators had good reliability ( $ICC=0.588\sim0.789$ ). Young's modulus of transverse abdominis was significantly different in different functional states ( $P<0.05$ ). There was no correlation between Young's modulus and thickness of transverse abdominis ( $r=0.075/-0.051, P>0.05$ ). Young's modulus of transverse abdominal muscle (resting state):  $8.27\sim9.08$  kPa; transverse abdominal muscle (contracted state):  $17.49\sim19.15$  kPa; thickness of transverse abdominis (resting state):  $0.29\sim0.32$  cm; thickness of transverse abdominis (contracted state):  $0.45\sim0.49$  cm. **Conclusion** Shear-wave ultrasound elastography has good reliability in measuring the stiffness of transverse abdominis. The difference of Young's modulus is obvious in different functional states. It provides a relatively independent new method for evaluating the functional states of transverse abdominis.

**【Key words】** shear-wave ultrasound elastography (SWUE); transversus abdominis (TrA); Young's modulus; thickness

作者单位: 210029 南京, 南京中医药大学附属医院超声医学科(宋

旭光、许华宁、何玉冰、徐道明)

通信作者: 许华宁, E-mail: 12310583@qq.com

## 0 引言

腹横肌 (transversus abdominis, TrA) 位于腹壁深层,是核心肌群的主要组成部分,可以辅助脊柱的动态稳定,与腰部疼痛和功能密切相关<sup>[1]</sup>。随着社会工业化的发展,非特异性下背痛 (non-specific low back pain, NLBP) 患者越来越多,影响了生活质量。有文献报道,腹横肌激活水平和脊柱稳定性下降与 NLBP 存在相关性<sup>[2]</sup>。近年来,超声成像技术在康复医学领域应用广泛,为腹横肌提供了形态学评估,提高了腹横肌训练效率,具有良好的可信度<sup>[3]</sup>。有学者提出仅测量腹横肌厚度并不能完全反应肌肉的兴奋性<sup>[4]</sup>,因此寻找一种新的评价方法显得尤为重要。剪切波超声弹性成像技术 (shear-wave ultrasound elastography, SWUE) 可以定量测量组织硬度,杨氏模量值 (Young's modulus) 越大,说明组织硬度越大。目前,该技术已经被广泛应用于评价肌肉的硬度,具有良好的一致性和可重复性<sup>[5]</sup>。但少有文献报道通过 SWUE 评价腹横肌的功能状态。本研究通过 SWUE 观察正常人腹横肌杨氏模量值的可靠性,不同功能状态下腹横肌杨氏模量值的差异,以及腹横肌杨氏模量值与厚度之间的相关性,为评价 NLBP 患者腹横肌的状态提供参照依据。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象** 收集 2016 年 4-10 月南京中医药大学附属医院超声医学科门诊健康志愿者 60 例,其中男 28 例,女 32 例。年龄 19~62 岁,平均 (29.50±9.75) 岁;身高 148~189 cm,平均 (168.03±9.25) cm;体重 45~93 kg,平均 (62.00±18.25) kg;体重指数 (BMI) 16.5~29.7 kg/m<sup>2</sup>,平均 (21.94±3.12) kg/m<sup>2</sup>。纳入标准:近 6 个月无腰背部疼痛;未曾接受过腹部手术;未服用任何会影响肌肉大小的药物;无其他神经系统、肌肉、骨科疾病;无系统性、代谢性、内分泌等病史。排除标准:下腰痛病史;下背部外伤史;腹部肌肉手术;脊柱侧弯及脊柱手术;其他神经肌肉相关疾病。本研究经医院伦理委员会审核批准 (批准号:2016NL-029-01),所有志愿者均签署知情同意书。

**1.2 仪器与方法** 腹横肌杨氏模量值检测使用法国声科影像公司 (Supersonic Imagine) 的 AixPlorer

声蓝超声诊断仪,使用 L10-2 线阵探头 (频率 2~10 MHz),选择肌肉模式,适当调节图像至最佳。

检测前训练受试者掌握腹横肌激活动作。嘱受试者仰卧位,双手自然放于身体两侧,屈髋屈膝,深吸气后收腹提肛,激活腹横。检测时探头定位于腋前线与脐水平线的交点,局部涂抹耦合剂,探头垂直于皮肤表面,不加压,探头平行于肌纤维走行方向。

首先静息状态显示灰阶图像,测量双侧腹横肌厚度,不包括高回声筋膜部分,测量线与腹横肌垂直。激活后,于肌肉最紧张状态再次测量。然后启动 SWUE 模式,感兴趣区 (方形) 统一设置成 15 mm×15 mm, Q-box 圆形分析区域直径统一设置为 2 mm,待弹性图像稳定并充盈完整后选择平均杨氏模量值进行统计。在腹横肌静息状态和激活状态分别测量。

腹横肌相关测量由熟练操作 SWUE 的 2 位医师采用同样手法先后完成。医师 1 测量 2 次,留存 2 组数据,医师 2 测量 1 次,留存 1 组数据,共记录 3 组数,每张图像上取均匀分布 3 处数值取平均值。每次获取的杨氏模量值图至少间隔 3 s 以上。

**1.3 统计学分析** 使用 SPSS 24.0 和 MedCalc 15.6.1 统计软件。符合正态分布的计量资料用均数±标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示,不符合正态分布的计量资料用中位数±四分位距 ( $M \pm Q$ ) 表示。医师间重复性和一致性评价采用组内相关分析。组内相关系数 (interclass correlation coefficient, ICC) 等级划分<sup>[6]</sup>: ICC≤0.40 为轻微相关;0.41<ICC≤0.80 为较好相关,ICC>0.81 为完美相关。Bland-Altman 图示法评价医师 1 和医师 2 测量一致性。腹横肌不同状态下测值对比采用 Mann-Whitney *U* 检验。不同变量间相关性采用 Spearman 相关分析。以  $P \leq 0.05$  为差异有统计学意义。腹横肌杨氏模量值、厚度与受试者性别、年龄、身高、体重和 BMI 之间的关系采用多元线性回归,选取医师 1 第 1 次测量右侧腹横肌测量数据进行统计分析。用样本均值的 95% 置信区间评估总体均值。

## 2 结果

**2.1 腹横肌杨氏模量值和厚度医师间测量可信度分析** 医师 1 的 2 次测量信度分析比较显示差异均有统计学意义 ( $P < 0.001$ ),见表 1。信度系数 (ICC)

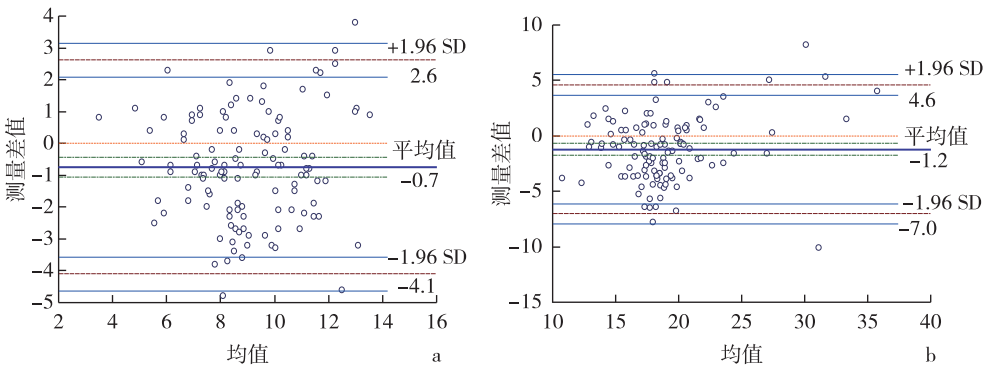
均>0.40,说明同一医师腹横肌杨氏模量值测量信度较好。医师 1 和医师 2 测量信度分析见图 1, Bland-Altman 图显示医师 1 和医师 2 测量结果的差值符合 95%一致性界限(95% limits of agreement, 95%LoA),即静息状态有 95.8%(5/120)的点位于 95%LoA 之间,激活状态有 93.3%(8/120)的点位于 95%LoA 之间,说明两者测量一致性较好。

表 1 同一医师腹横肌杨氏模量和厚度测量信度分析(M±Q)

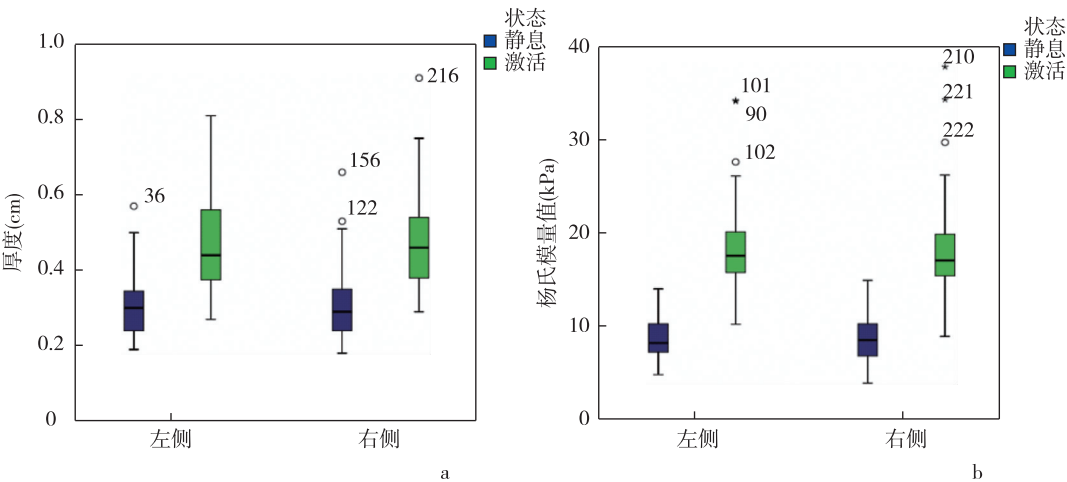
腹横肌	第 1 次		第 2 次		信度系数(ICC)		P 值	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
厚度(cm)								
静息状态	0.30±0.11	0.29±0.11	0.28±0.10	0.30±0.12	0.976	0.987	<0.001	<0.001
激活状态	0.44±0.19	0.46±0.17	0.45±0.18	0.47±0.17	0.983	0.990	<0.001	<0.001
杨氏模量(kPa)								
静息状态	8.20±3.01	8.58±2.33	8.24±2.15	7.90±3.18	0.689	0.588	<0.001	<0.001
激活状态	17.55±4.43	17.05±4.58	15.9±4.63	16.1±3.75	0.789	0.783	<0.001	<0.001

2.2 腹横肌不同功能状态下杨氏模量值测值对比 静息状态和激活状态下腹横肌杨氏模量值和厚度对比差异具有统计学意义( $P<0.05$ ),见图 2。

2.3 腹横肌杨氏模量值与厚度之间相关分析 Spearman相关分析显示,杨氏模量值和厚度间无线性相关关系( $r=0.075/-0.051, P>0.05$ )。见图 3。



a:静息状态;b:激活状态  
图 1 腹横肌杨氏模量值医师 1 和医师 2 间测量一致性



a:厚度;b:杨氏模量值  
图 2 腹横肌不同状态杨氏模量值和厚度测值对比值

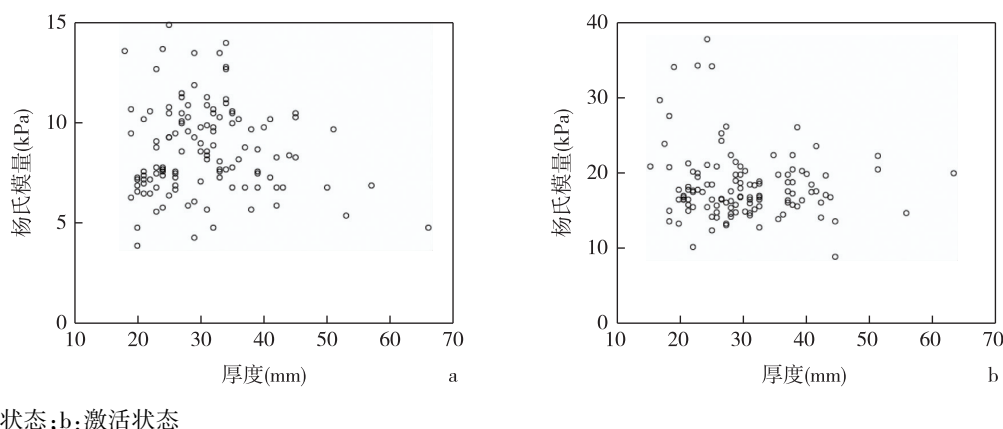


图 3 不同功能状态下腹横肌杨氏模量值与厚度相关性散点图

## 2.4 腹横肌杨氏模量值、厚度与受试者基本信息多元线性回归分析

腹横肌厚度(静息)调整  $R^2 = 0.630$ ,  $F(4, 54) = 25.642$  ( $P < 0.001$ ), 腹横肌厚度(激活)调整  $R^2 = 0.495$ ,  $F(4, 54) = 15.225$  ( $P < 0.001$ ), 提示纳入模型的自变量——性别、年龄、身高和体重(变量 BMI 存在多重共线性, 故剔除)对腹横肌厚度的影响均有统计学意义。腹横肌杨氏模量值调整  $R^2 = 0.065/-0.008$ , 杨氏模量与受试者性别、年龄、身高、体重和 BMI 之间线性模型无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。回归方程: 腹横肌厚度(静息状态) =  $0.445 + 0.039 \times \text{性别} - 0.003 \times \text{年龄} - 0.002 \times \text{身高} + 0.006 \times \text{体重}$ ; 腹横肌厚度(激活状态) =  $0.593 + 0.092 \times \text{性别} - 0.002 \times \text{年龄} - 0.002 \times \text{身高} + 0.005 \times \text{体重}$ 。提示性别的影响最为显著。

**2.5 样本总体均值评估** 腹横肌杨氏模量值(静息状态): 8.27~9.08 kPa; 腹横肌杨氏模量值(激活状态): 17.49~19.15 kPa; 腹横肌厚度(静息状态): 0.29~0.32 cm; 腹横肌厚度(激活状态): 0.45~0.49 cm。

## 3 讨论

腹横肌是深层肌, 无法直接观察和测量其是否收缩及收缩程度, 所以临床上针对腹横肌的运动训练很难把握<sup>[7-8]</sup>。肌电图为有创检查, MRI 昂贵、操作烦琐等特点, 这两者未能在临床广泛应用。超声在评价肌肉功能状态方面, 虽然可以提供关于肌肉厚度或横截面积等, 但有时得到的数据却不能客观

反应收缩程度。有研究者发现超声成像可以观察到低强度的肌肉收缩, 而不能准确描述中高强度的收缩情况<sup>[9-10]</sup>。SWUE 不需手动施加压力, 减小了测量误差, 能直接获得代表肌肉组织生物学特性的杨氏模量值。国外相关文献中熟练操作者间腹横肌杨氏模量值测量可重复性良好, 非熟练操作者可重复性较差<sup>[11-12]</sup>。本研究 2 位医师均熟练掌握 SWUE 操作, 采用同一台仪器及相同测量标准, 测量可重复性良好, SWUE 可以用于定量检测腹横肌组织硬度, 评估肌肉的功能状态。

本研究显示, 静息状态和激活状态腹横肌杨氏模量值差异显著, 激活状态下杨氏模量值明显增加, 说明腹横肌硬度增加, 这与预期结果一致。国内外文献也有相同结论。Nordez 等<sup>[13]</sup>应用 SWUE 对肱二头肌肌腹等长收缩状态下进行杨氏模量值测量, 结果表明肱二头肌等长收缩时与杨氏模量值之间存在正相关。温朝阳等<sup>[14]</sup>使用 SWUE 发现, 肱二头肌紧张状态下杨氏模量值 $[(123.658 \pm 31.392) \text{ kPa}]$ 大于松弛状态 $[(45.658 \pm 13.479) \text{ kPa}]$ 。以上研究表明 SWUE 可以定量评估腹横肌不同功能状态。除此之外, 双侧腹横肌杨氏模量值在不同功能状态下对比差异无统计学意义。这是由于核心肌群本身起稳定脊柱的作用, 肌肉呈对称生长。

腹横肌杨氏模量值作为一个新的功能评价指标, 本研究将其与腹横肌厚度进行了相关分析。结果发现不同功能状态下两者散点图均无线性相关关系, 相关系数很小, 说明两者不相关, 杨氏模量值



相对独立,不受厚度影响,可作为一种新的功能评价指标进行后续研究。在腹横肌杨氏模量值、厚度与受试者基本信息的多元线性回归分析中,腹横肌杨氏模量值线性关系模型无统计学意义,说明其不受性别、年龄、体重等指标影响,可以成为反映腹横肌功能状态的一个更为可靠的检测指标,在后续相关疾病研究中发挥重要作用。

本研究健康受试者以中青年为主,避免了年龄及疾病因素对肌肉硬度和功能状态的影响<sup>[15]</sup>,但还有几个注意事项及不足之处:部分女性静息状态下腹横肌厚度较薄,杨氏模量值感兴趣区的测量要调小,尽量不覆盖周围筋膜等结缔组织。尽管测量时探头垂直于皮肤表面,由于腹横肌较宽大,局部呈弧形结构,仍然需注意声束与肌纤维夹角不应过大。Miyamoto 等<sup>[16]</sup>比较探头与肌束方向夹角及探头与皮肤夹角对测量杨氏模量值的影响,发现探头与肌束夹角 $<20^{\circ}$ 时差异无统计学意义,探头与皮肤表面夹角不影响杨氏模量值。本研究在设计时未记录剪切波速度,也未在腹横肌横切面测量,缺少了这些因素的对比。有文献<sup>[17]</sup>表明杨氏模量值和剪切波速度对肌肉硬度评估均有参考意义,建议同时参考两个量化指标。有研究发现,剪切波在结缔组织传播速度减慢,纵切面扫查时探测到的剪切波传播速度是沿其肌纤维传播的速度,速度较快;而在横断面时,剪切波在肌纤维和结缔组织之间反复出入,可能会影响其传播速度<sup>[18-19]</sup>。因而横切时 SWUE 值较纵切明显减小。Chino 等<sup>[20]</sup>研究显示,剪切波速度测值随切面不同而变化,腓肠肌纵切时其剪切波速度测值较横切测值高并存在差异。国内外文献中应用 SWUE 评估肌肉组织硬度时,更推荐肌肉纵切面测值<sup>[21-22]</sup>。

综上所述,SWUE 可以定量评估腹横肌不同的功能状态,医师测量一致性及可重复性较好,为腹横肌功能状态的评估提供了一种相对独立的新方法,从而比较客观地评价腹横肌的功能状态。但目前 SWUE 应用于腹横肌的研究较少,缺少统一的测量标准;同时肌肉本身的复杂性和操作者本身的主观性等因素也会给研究带来一定困难。因此,今后

还需进一步研究其方法学,使该技术可以作为一项比较可靠的定量监测指标应用于临床检查过程中,为后续肌肉方面的疾病诊断和治疗效果评估提供了一定的研究基础。

## 【参考文献】

- [1] 张 洲,何树堂,谭茗丹,等.实时超声反馈下腹横肌运动控制的研究[J].中国康复医学杂志,2017,32(10):1124-1129.
- [2] Koppenhaver SL, Hebert JJ, Fritz JM, et al. Reliability of rehabilitative ultrasound imaging of the transversus abdominis and lumbar multifidus muscles[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2009, 90(1):87-94.
- [3] Gildea JE, Hides JA, Hodges PW. Morphology of the abdominal muscles in ballet dancers with and without low back pain: a magnetic resonance imaging study[J]. J Sci Med Sport, 2014, 17(5):452-456.
- [4] Lima PO, Oliveira RR, Moura Filho AG, et al. Concurrent validity of the pressure biofeedback unit and surface electromyography in measuring transversus abdominis muscle activity in patients with chronic nonspecific low back pain[J]. Rev Bras Fisioter, 2012, 16(5):389-395.
- [5] Hirayama K, Akagi R, Takahashi H. Reliability of ultrasound elastography for the quantification of transversus abdominis elasticity[J]. Acta Radiologica Open, 2015, 4(9). DOI: 10.1177/2058460115603420
- [6] Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data[J]. Biometrics, 1997, 33:159-174.
- [7] Gomes-Neto M, Lopes JM, Conceição CS, et al. Stabilization exercise compared to general exercises or manual therapy for the management of low back pain: A systematic review and meta-analysis[J]. Phys Ther Sport, 2017, 23:136-142.
- [8] 周晓辉,贾 伟,邱永斌,等.早期核心肌群训练对脑卒中患者躯干控制能力的影响[J].东南国防医药,2015,17(3):269-271.
- [9] Lükens J, Boström KJ, Puta C, et al. Using ultrasound to assess the thickness of the transversus abdominis in a sling exercise[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2015, 16:203.
- [10] Teyhen DS, Rieger JL, Westrick RB, et al. Changes in deep abdominal muscle thickness during common trunk-strengthening exercises using ultrasound imaging[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2008, 38(10):596-605.
- [11] MacDonald D, Wan A, McPhee M, et al. Reliability of abdominal muscle stiffness measured using elastography during trunk rehabilitation exercises[J]. Ultrasound Med Biol, 2016, 42(4):

- 1018-1025.
- [12] Tavare AN, Alfuraih AM, Hensor EMA, *et al.* Shear-Wave Elastography of Benign versus Malignant Musculoskeletal Soft-Tissue Masses: Comparison with Conventional US and MRI [J]. *Radiology*, 2019, 290(2):410-417.
- [13] Nordez A, Hug F. Muscle shear elastic modulus measured using super-sonic shear imaging is highly related to muscle activity level [J]. *Physiol*, 2010, 108(5):1389-1394.
- [14] 温朝阳, 范春芝, 袁九春, 等. 实时定量超声弹性成像技术检测肱二头肌松弛和紧张状态下弹性模量值差异 [J]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2011, 8(1):61-63.
- [15] 文 晶, 王月香, 罗淦昆, 等. 剪切波超声弹性成像定量评估腓肠肌和比目鱼肌硬度的初步研究 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2017, 25(7):536-540, 542.
- [16] Miyamoto N, Hirata K, Kanehisa H, *et al.* Validity of measurement of shear modulus by ultrasound shear wave elastography in human pennate muscle [J]. *PLoS One*, 2015, 10(4):e0124311. DOI: 10.1371/journal.pone.0124311.
- [17] Roskopf AB, Ehrmann C, Buck FM, *et al.* Quantitative Shear-Wave US Elastography of the Supraspinatus Muscle: Reliability of the Method and Relation to Tendon Integrity and Muscle Quality [J]. *Radiology*, 2016, 278(2):465-474.
- [18] 王艳春, 肖沪生, 徐 芳, 等. 实时剪切波弹性成像在骨骼肌系统中的应用 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2016, 24(3):238-240.
- [19] Moreau B, Vergari C, Gad H, *et al.* Non-invasive assessment of human multifidus muscle stiffness using ultrasound shear wave elastography: A feasibility study [J]. *Proc Inst Mech Eng H*, 2016, 230(8):809-814.
- [20] Chino K, Kawakami Y, Takahashi H. Tissue elasticity of in vivo skeletal muscles measured in the transverse and longitudinal planes using shear wave elastography [J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2017, 37(4):394-399.
- [21] Xu DM, Xu H, Liu J, *et al.* Effect of Thunder-Fire Moxibustion on Pain, Quality of Life, and Tension of Multifidus in Patients with Primary Osteoporosis: A Randomized Controlled Trial [J]. *Med Sci Monit*, 2018, 24:2937-2945.
- [22] Abuin-Porras V, Maldonado-Tello P, de la Cueva-Reguera M, *et al.* Comparison of Lateral Abdominal Musculature Activation during Expiration with an Expiratory Flow Control Device Versus the Abdominal Drawing-in Maneuver in Healthy Women: A Cross-Sectional Observational Pilot Study [J]. *Medicina (Kaunas)*, 2020, 56(2):345-350.

(收稿日期:2020-01-01; 修回日期:2020-02-28)

(责任编辑:叶华珍; 英文编辑:朱一超)