

◁肌肉骨骼影像学▷

超微血管成像联合剪切波弹性成像在非特异性腰痛中的临床研究

邓宇光,郝振民,郭振宁

(哈励逊国际和平医院超声科,河北 衡水 053000)

[摘要] 目的:探究超微血管成像(SMI)联合剪切波弹性成像(SWE)在评估非特异性腰痛(NLBP)中的临床价值。方法:回顾性选取我院 2021 年 5 月—2023 年 5 月已确诊的 223 例 NLBP 患者作为研究对象,另选取正常健康志愿者 182 例作为健康组。所有受试者均采用 SMI 联合 SWE 评估腹部肌群,并评估 NLBP 患者治疗前后腹部肌群的变化。记录所有受试者的临床资料,比较两组腹直肌和腹横肌的厚度、SWE 的平均值(Ave)、SWE 的标准差(SD)以及腹直肌血流收缩期峰值流速(Vmax)、腹直肌血流舒张末期血流速度(Ved)、腹直肌血流阻力指数(RI)、NLBP 患者治疗前后 VAS 评分。结果:NLBP 组腹直肌厚度、Ave、SD、血流 Vmax 以及腹横肌 Ave、SD 均小于健康组,而腹直肌血流 RI 高于健康组($P<0.05$)。腹直肌、腹横肌相关参数联合诊断 NLBP 的整体效能最高,其诊断 NLBP 的灵敏度和特异度分别为 85.2%、85.7%。NLBP 患者治疗前腹直肌 Ave、SD、血流 Vmax、血流 Ved 以及腹横肌 SD 均小于治疗后,而治疗前血流 RI 高于治疗后;治疗前 VAS 评分高于治疗后($P<0.05$)。经 Spearman 相关性分析发现,NLBP 患者腹直肌 Ave、SD 与腹直肌血流 Vmax、血流 RI 呈正相关性($P<0.05$),与腹直肌血流 Ved 无相关性($P>0.05$)。结论:NLBP 患者腹直肌和腹横肌的 Ave、SD 以及肌肉血流分布小于对照组,腹直肌和腹横肌的 SWE 参数和 SMI 参数对 NLBP 有较高的诊断价值,两者联合能提高其诊断效能。腹直肌 Ave、SD 与腹直肌血流 Vmax、血流 RI 呈正相关性。

[关键词] 腰痛;超声检查

[中图分类号] R681.55;R445.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1008-1062(2024)12-0889-05

DOI:10.12117/jccmi.2024.12.011

Value of superb microvascular imaging combined with shear wave elastography in non-specific low back pain

DENG Yu-guang, HAO Zhen-min, GUO Zhen-ning

(Department of Ultrasound, Harrison International Peace Hospital, Hengshui Hebei 053000, China)

Abstract: Objective: To assess the value of superb microvascular imaging (SMI) combined with shear wave elastography (SWE) in non-specific low back pain (NLBP). **Methods:** A total of 223 NLBP patients in our hospital from May 2021 to May 2023 were selected as NLBP group, and 182 healthy volunteers were enrolled as healthy group. All subjects were assessed using SMI combined with SWE. Changes in abdominal muscle before and after treatment in patients with NLBP were assessed. The clinical data of all subjects were recorded. Parameters including the thickness, average(Ave) and standard deviation(SD) of rectus abdominis and transversus abdominis, and the maximum systolic flow velocity (Vmax), end diastolic velocity (Vmin), and resistance index (RI) of rectus abdominis, as well as pre-and post-treatment visual analogue scale (VAS) scores of NLBP patients were recorded in all patients. **Results:** The thickness, Ave, SD and Vmax of rectus abdominis, and Ave and SD of the transverse abdominis of the NLBP group were all lower than those of the healthy group, and RI of rectus abdominis was higher than that of the healthy group($P<0.05$). The combined test of parameters related to rectus abdominis and transverse abdominis had the highest overall efficiency in diagnosing NLBP, with sensitivity and specificity of 85.2% and 85.7%. Before treatment, Ave, SD, Vmax, and Ved of rectus abdominis and SD of transversus abdominis were lower than those after treatment, while RI of patients before treatment was higher than that after treatment ($P<0.05$). VAS score of patients before treatment was higher than that after treatment($P<0.05$). Spearman correlation analysis denoted that Ave and SD of rectus abdominis muscle in NLBP patients were positively correlated with Vmax and RI of rectus abdominis ($P<0.05$), but had no correlation with Ved of rectus abdominis ($P>0.05$). **Conclusion:** The Ave, SD, and muscle blood flow distribution of rectus abdominis and transverse abdominis are decreased in NLBP patients compared to healthy controls. The SWE and SMI parameters of rectus abdominis and transverse abdominis have high diagnostic value for NLBP, and the combination of the two can improve its diagnostic efficiency, furthermore, Ave and SD of rectus abdominis are positively correlated with the Vmax and RI of rectus abdominis.

Key words: Lumbago; Ultrasonography

非特异性腰痛(Nonspecific low back pain,NLBP)是指病因不明的腰痛,除脊柱特异性疾病和神经根

性疼痛外,其他原因引起的以腰背部、骶髂部疼痛为主要表现的一类疾病^[1]。NLBP 因其发病率高以及病

[收稿日期] 2024-03-18;[修回日期] 2024-04-07

[作者简介] 邓宇光(1982-),男,河北保定人,主治医师。E-mail:dengyuguang@163.com

[通信作者] 郝振民,哈励逊国际和平医院超声科,053000。E-mail:haozhenmin1983@163.com

[基金项目] 河北省卫生健康委科研项目(编号:20220466)。

程周期长的特点,严重影响患者的生活质量。有研究表明,腰痛患者的腹部肌力只是健康人群的 60% 左右,推测腰痛可能与腹部肌群的肌力不佳有关^[2]。NLBP 的评估方法主要包括 X 线、CT、MRI 等检查。各种检查方法各有其优缺点,CT 检查存在放射性,其软组织分辨力欠佳;MRI 检查虽然不产生电离辐射,但其检查费用高,部分患者难以接受^[3];超声检查因其简单、经济的优势,在临床上应用极为广泛。肌骨超声对骨骼肌肉识别的准确性和敏感性较高,对 NLBP 患者进行超声评估在我国已越来越被重视^[4]。剪切波弹性成像(Shear wave elastography, SWE)技术通过获取肌肉组织的弹性值,实现了无创量化腰部核心肌群组织的弹性,从而反应核心肌群的状态^[5]。超微血管成像(Superb microvascular imaging, SMI)采用智能滤波技术滤除杂波识别并保留微小血管低流速的血流信号,在低速度和高增益的情况下,仍能更真实地呈现微血管结构^[6]。本研究通过 SMI 联合 SWE 测量 NLBP 患者的腹部肌群各项指标,评估测量指标与疾病的相关性,为临床评估提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性选取我院 2021 年 5 月—2023 年 5 月已确诊的 223 例 NLBP 患者作为研究对象,另选取正常健康志愿者(近期 6 月未出现腰背部疼痛)182 例作为健康组。纳入标准:①经检查符合《中国急慢性非特异性腰背痛诊疗专家共识》^[7]的诊断标准,包括病程持续 12 周以上、无中枢神经病史、没有腰部外伤史、无风湿和感染性疾病、无腰椎发育畸形、无腰椎肿瘤;②CT 或 MRI 检查未发现腰椎间盘突出、腰椎管狭窄;③年龄 18~65 岁;④临床资料完整。排除标准:①腰背部疼痛患者发病时间小于 12 周;②腰椎手术后患者;③其他腰部器质性疾病引起的腰痛;④神经根性疼痛患者;⑤体质指数(BMI)>30 kg/m²。223 例 NLBP 患者中,男 103 例,女 120 例,平均年龄(48.38±17.78)岁;182 例健康志愿者中,男 89 例,女 93 例,平均年龄(50.33±16.52)岁。两组研究对象性别、年龄、BMI、身高、运动量等一般资料比较无统计学差异,具有可比性($P>0.05$)(表 1)。本研究经医院医学伦理委员会批准同意。

1.2 方法

1.2.1 仪器

采用 Aplio 900 超声诊断仪(日本佳能公司),探头频率为 5~18 MHz,检测 NLBP 患者腹直肌、腹横肌相关参数。

表 1 一般临床资料比较($n(\bar{x}\pm s)$)

指标	NLBP 组(n=223)	健康组(n=182)	t/χ^2	P
年龄(岁)	48.38±17.78	50.33±16.52	1.134	0.257
性别(男/女)	103/120	89/93	0.296	0.587
BMI(kg/m ²)	33.53±7.22	32.56±6.56	1.401	0.162
身高(cm)	163.55±12.74	161.73±14.23	1.357	0.176
运动量(h/w)	3.77±0.57	3.68±1.25	0.960	0.338

1.2.2 测量方法

患者治疗前后以及健康志愿者均采取以下方式测定腹直肌、腹横肌相关参数。SWE 测量:受试者取仰卧位,测量时需注意,在呼气末屏气 5 s 冻结图像进行测定,测量过程中探头保持与皮肤垂直。检查前自然放松约 5 min,皮肤与探头之间涂抹适量耦合剂减少对肌肉组织的压迫,双上肢水平放在身体两侧,头部轻微垫高,膝关节后方垫枕头,减少脊柱屈曲程度,降低腰椎代偿用力,在肚脐上方约 2 cm 距离中线 2~3 cm 处测量腹直肌、腹横肌的肌肉回声强度及肌肉厚度。选择 SWE 模式,将感兴趣区置于屏幕正中位置,感兴趣区大小为 20 cm×20 cm,测量深度在 1~5 cm 以内。弹性图中超过 2/3 区域渐变着色或均匀着色,无突兀过渡。患者屏息,在 SWE 颜色稳定后进行中心区域选择,启动 Q-Box 功能。分别选取腹直肌、腹横肌 3 个不同区域进行硬度测量,取平均值(图 1,2)。以上测量均由同一经验丰富的超声医师完成。

使用 Aplio 900 超声诊断仪进行检测,采用线阵探头,频率为 5~18 MHz。受试者取仰卧位,选择 SMI 模式,调节取样框尺寸,血流速度在 1.2 cm/s 以下,探测腹直肌内微血流分布,测量肌肉内血流速度及血流阻力指数(RI)(图 3)。

1.2.3 治疗

治疗前用 VAS 评分系统对 NLBP 患者进行评分,并记录数据。所有 NLBP 患者均采用常规推拿按摩手法进行治疗每次治疗约 30 min,按照规范化操作综合运用按法、揉法等传统推拿手法按摩病痛区域。按以下方法进行操作:先用掌根按揉局部痛点 5 min,然后于痛点周围区域自上而下施以擦法 5~10 min,再采用掌根推法自上而下推按 5 min 左右。上述推拿按摩手法施用完毕后,用拇指重点按患者压痛处 5 min。经治疗 1 周后,再次用 VAS 评分系统进行评分,对比 NLBP 患者治疗前后 VAS 评分。VAS 评分代表疼痛程度,无疼痛为 0 分,轻度疼痛为 1~3 分,中度疼痛为 4~6 分,重度疼痛为 7~10 分。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析。计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)的形式表示,采用独立样本 t 检验;计数资料以“n”表示,采用 χ^2 检验进行组间比

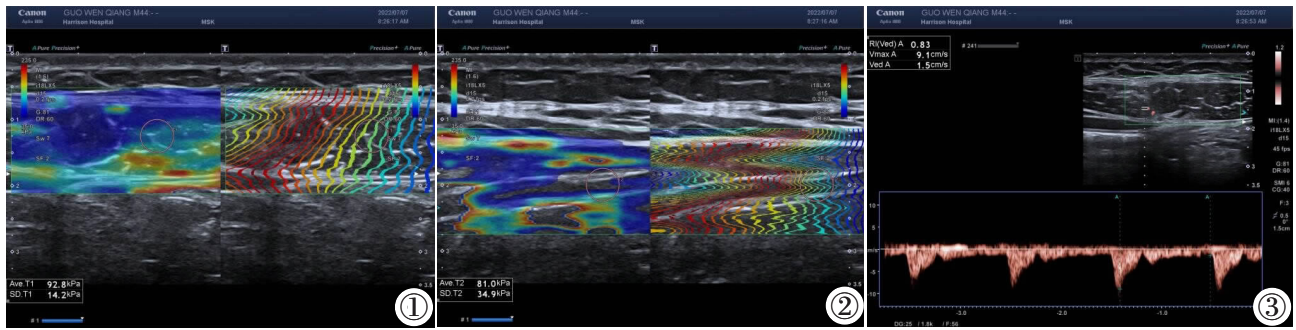


图 1 NLBP 患者的腹直肌 SWE 图像。 图 2 NLBP 患者的腹横肌 SWE 图像。 图 3 NLBP 患者的腹直肌 SMI 图像。

Figure 1. SWE imaging of the rectus abdominis muscle in NLBP patients. Figure 2. SWE imaging of the transverse abdominis muscle in NLBP patients. Figure 3. SMI imaging of the rectus abdominis muscle in patients with NLBP.

较。采用 Spearman 相关性分析不同患者 SWE 参数和 SMI 参数与 VAS 评分的相关性,采用受试者工作特征(Receiver operating characteristic,ROC)曲线分析 SWE 参数和 SMI 参数对 NLBP 患者的诊断价值。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 NLBP 患者与健康志愿者腹直肌、腹横肌的超声参数比较

NLBP 组腹直肌厚度(8.06 ± 1.47)、SWE 的平均值(Ave)(92.36 ± 40.92)、SWE 的标准差(SD)(27.61 ± 13.8)、血流收缩期峰值流速(V_{max})(14.56 ± 6.41)以及腹横肌 Ave(78.77 ± 23.95)、SD(28.74 ± 12.53)均小于健康组,而 NLBP 组腹直肌血流 RI(0.81 ± 0.05)高于健康组($P < 0.05$)(表 2)(图 4~7)。

2.2 腹直肌、腹横肌相关参数对 NLBP 患者的 ROC 曲线分析

ROC 曲线分析显示,腹直肌 Ave、腹横肌 Ave、腹直肌 SD、腹横肌 SD、腹直肌血流 V_{max} 和腹直肌

血流 RI 诊断 NLBP 的 AUC 分别为 0.779、0.750、0.761、0.643、0.628、0.655,联合诊断的整体效能最高,其诊断 NLBP 的灵敏度和特异度分别为 85.2%、85.7%(表 3,图 8)。

2.3 对比 NLBP 患者治疗前后腹直肌、腹横肌相关参数以及 VAS 评分

NLBP 患者治疗前腹直肌 Ave、SD、血流 V_{max} 、血流舒张末期血流速度(Ved)以及腹横肌 SD(分别

表 2 NLBP 患者与健康志愿者腹直肌、腹横肌的超声参数比较($\bar{x} \pm s$)

临床指标		NLBP 组 (n=223)	健康组 (n=182)	t	P
厚度(mm)	腹直肌	8.06±1.47	9.24±1.62	7.675	<0.001
	腹横肌	4.27±1.21	4.11±0.94	1.460	0.145
Ave(kPa)	腹直肌	92.36±40.92	101.32±35.65	2.321	0.021
	腹横肌	78.77±23.95	83.56±21.56	2.093	0.037
SD(kPa)	腹直肌	27.61±13.8	31.26±11.23	2.875	0.004
	腹横肌	28.74±12.53	31.33±11.23	2.167	0.031
腹直肌血流 V_{max} (cm/s)		14.56±6.41	16.33±6.11	2.823	0.005
腹直肌血流 Ved(cm/s)		2.54±1.41	2.72±1.21	1.361	0.174
腹直肌血流 RI		0.81±0.05	0.65±0.04	34.987	<0.001

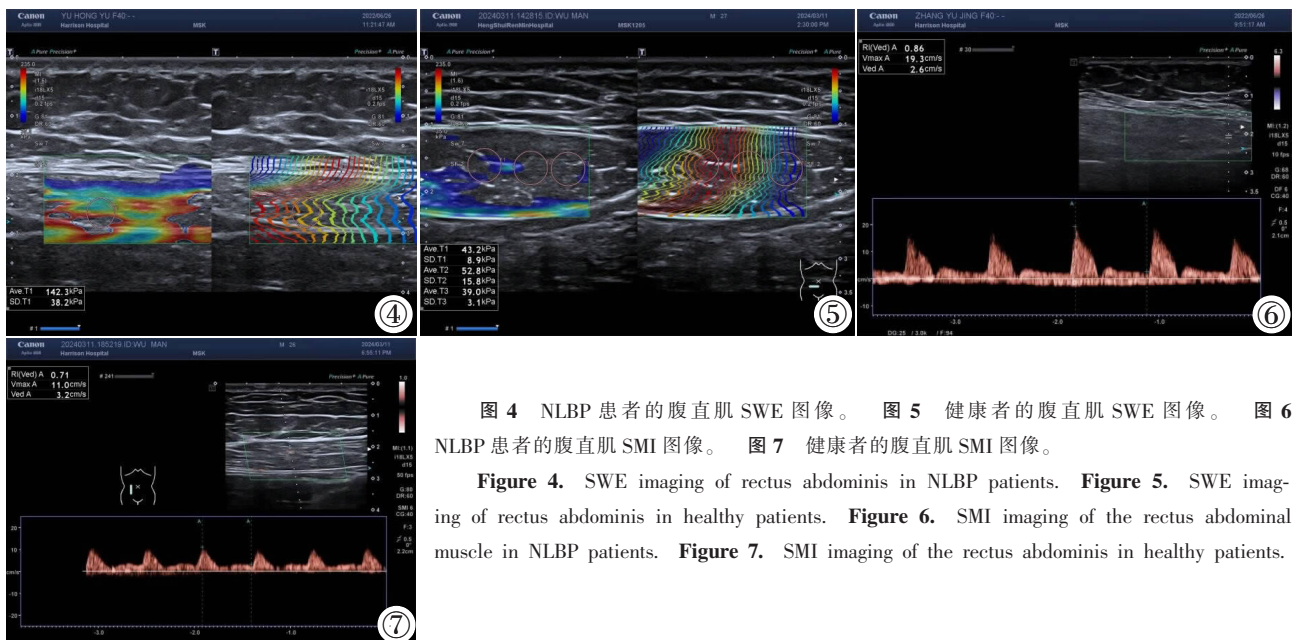


图 4 NLBP 患者的腹直肌 SWE 图像。 图 5 健康者的腹直肌 SWE 图像。 图 6 NLBP 患者的腹直肌 SMI 图像。 图 7 健康者的腹直肌 SMI 图像。

Figure 4. SWE imaging of rectus abdominis in NLBP patients. Figure 5. SWE imaging of rectus abdominis in healthy patients. Figure 6. SMI imaging of the rectus abdominal muscle in NLBP patients. Figure 7. SMI imaging of the rectus abdominis in healthy patients.

表 3 腹直肌、腹横肌的超声参数对 NLBP 患者的 ROC 曲线分析

指标	AUC	95%CI	P 值	灵敏度	特异度
腹直肌 Ave	0.779	0.734~0.824	<0.001	69.1%	77.5%
腹横肌 Ave	0.750	0.703~0.797	<0.001	84.1%	54.4%
腹直肌 SD	0.761	0.715~0.807	<0.001	76.2%	65.4%
腹横肌 SD	0.643	0.588~0.697	<0.001	73.1%	53.8%
腹直肌血流 Vmax	0.628	0.573~0.684	<0.001	77.6%	44.0%
腹直肌血流 RI	0.655	0.601~0.710	<0.001	70.4%	63.2%
联合诊断	0.915	0.888~0.942	<0.001	85.2%	85.7%

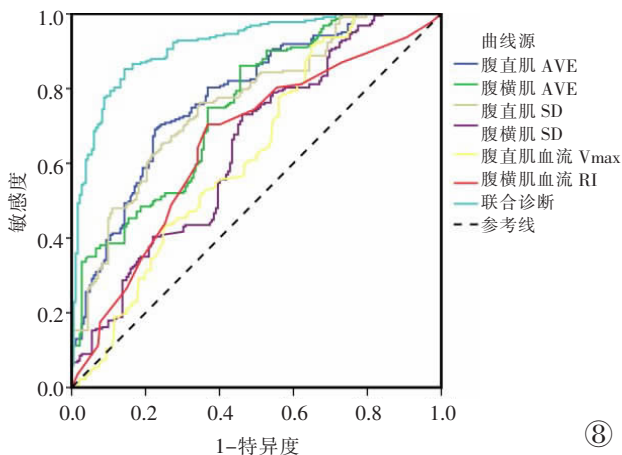


图 8 腹直肌、腹横肌的超声参数对 NLBP 患者的 ROC 曲线分析。

Figure 8. ROC curves of NLBP patients using ultrasound parameters of rectus abdominis and transverse abdominis muscles.

为 92.36 ± 40.92 、 27.61 ± 13.8 、 14.56 ± 6.41 、 2.54 ± 1.41 、 28.74 ± 12.53 均小于治疗后(分别为 99.75 ± 34.42 、 32.46 ± 16.45 、 17.54 ± 6.78 、 3.11 ± 1.21 、 31.24 ± 10.52)，而治疗前腹直肌血流 RI (0.81 ± 0.05) 高于治疗后 (0.72 ± 0.05)；治疗前 VAS 评分 (7.45 ± 1.77) 高于治疗后 (4.23 ± 1.22) ($P < 0.05$) (表 4)。

表 4 NLBP 患者治疗前后腹直肌、腹横肌超声参数以及 VAS 评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

临床指标	治疗前 (n=223)	治疗后 (n=182)	t	P	
厚度(mm)	腹直肌	8.06 ± 1.47	8.28 ± 1.59	1.517	0.130
	腹横肌	4.27 ± 1.21	4.46 ± 1.08	1.749	0.081
Ave(kPa)	腹直肌	92.36 ± 40.92	99.75 ± 34.42	2.064	0.040
	腹横肌	78.77 ± 23.95	81.44 ± 25.61	1.137	0.256
SD(kPa)	腹直肌	27.61 ± 13.8	32.46 ± 16.45	3.373	0.001
	腹横肌	28.74 ± 12.53	31.24 ± 10.52	2.282	0.023
腹直肌血流 Vmax(cm/s)	14.56 ± 6.41	17.54 ± 6.78	4.769	<0.001	
腹直肌血流 Ved(cm/s)	2.54 ± 1.41	3.11 ± 1.21	4.581	<0.001	
腹直肌血流 RI	0.81 ± 0.05	0.72 ± 0.05	19.007	<0.001	
VAS 评分	7.45 ± 1.77	4.23 ± 1.22	22.368	<0.001	

2.4 相关性分析

经 Spearman 相关性分析发现,NLBP 患者的腹直肌 Ave 与腹直肌血流 Vmax、腹直肌血流 RI 呈正相关性 ($r=0.516$ 、 0.463 , 均 $P < 0.001$), 腹直肌 SD 与腹直肌血流 Vmax、腹直肌血流 RI 呈正相关性 ($r=$

0.578 、 0.546 , 均 $P < 0.001$), NLBP 患者的腹直肌 Ave、腹直肌 SD 与腹直肌血流 Ved 无相关性 ($r=0.111$ 、 0.101 , $P > 0.05$)。

3 讨论

腰痛是全球常见的健康问题, 缺乏体育锻炼以及运动过度都可能会导致腰痛, NLBP 是中老年人群残疾的主要原因之一^[8]。腰痛中 85%~90% 为 NLBP, 疼痛时间持续 3 月以上的腰痛称为慢性 NLBP^[9]。到目前为止, NLBP 的发生机制尚未完全阐明, 普遍认为腰椎退行性变和运动劳损是 NLBP 发展的重要环节, 二者共同导致腰椎结构和功能改变, 使脊柱稳定性下降^[10]。肌肉劳损在 NLBP 患者中较常见, 国内外诸多研究表明, 腰背痛患者肌肉呈收缩改变, 肌肉体积缩小以及力量变弱^[11]。脊柱的稳定性与脊柱周围的肌肉协调有关, 肌肉协调在维持脊柱的稳定方面起着重要作用。在腰痛人群中肌肉慢性损伤者占大多数, 提示肌肉慢性损伤可能为慢性腰痛的发病原因^[12]。但目前仍缺乏有效评价指标评估肌肉慢性损伤的程度。

SWE 是一种定量测量组织硬度值, 从而得到杨氏模量的超声检查新方法, 在 B 超的基础上利用剪切波评估组织硬度值, 并通过不同颜色和杨氏模量来反映组织的硬度^[13]。目前, SWE 技术因具有良好的的一致性和可重复性, 使其在评价肌肉的硬度方面使用广泛^[14]。从核心肌群角度来讲, 以腰腹部多块肌肉依附于躯干及髋关节处, 多块肌肉相互协调以保持肢体平衡, 目前临床认为腹直肌、腹外斜肌以及竖脊肌与腰痛相关^[15]。有研究显示, 慢性腰痛的发生发展环节中核心肌群的肌力减小是其重要原因^[16]。腰椎的稳固主要依靠腹直肌, 在腰腹部多块肌肉中, 腹直肌和竖脊肌可传导不同部位之间的负荷, 避免脊柱侧方移位^[14]。有文献报道, 腹横肌的功能状态水平和脊柱稳定性之间存在相关性^[17]。本研究表明, NLBP 患者腹直肌厚度、Ave、SD 以及腹横肌 Ave、SD 均小于健康组; 患者治疗前腹直肌 Ave、SD 以及腹横肌 SD 均小于治疗后。表明 NLBP 患者腹直肌和腹横肌组织弹性下降。

SMI 是一种创新的多普勒血管成像技术, 与彩色多普勒血流显像和能量多普勒显像相比, SMI 可更详细地评价血管的复杂性和分布, 能够更加敏感地发现血流情况^[18]。SMI 多用于乳腺肿瘤和甲状腺肿瘤等研究中, 而在腰痛的研究中较少采用, 国内目前尚欠缺对于腰部动脉及血流分布情况的研究^[19]。有研究报道, SMI 更易检测出微小血管低流速的血流信号^[20-21]。有团队对腰痛患者使用 SMI 对腰动脉

血流进行研究,结果表明腰痛患者需要更多的血流,这可能与腰痛的代偿机制有关^[22]。本研究显示,NLBP 患者腹直肌血流 V_{max} 小于健康组,而腹直肌血流 RI 高于健康组;患者治疗前腹直肌血流 V_{max} 、血流 V_{ed} 均小于治疗后,而治疗前腹直肌血流 RI 高于治疗后。

本研究 ROC 曲线分析结果显示,腹直肌、腹横肌 SWE、SMI 相关参数联合诊断 NLBP 的整体效能最高,其诊断 NLBP 的灵敏度和特异度分别为 85.2%、85.7%。说明 SWE 和 SMI 可通过检测患者腹部肌群组织的弹性值,量化评估患者的肌肉组织病变的情况。经 Spearman 相关性分析发现,NLBP 患者腹直肌 Ave、腹直肌 SD 与腹直肌血流 V_{max} 、腹直肌血流 RI 呈正相关性,与腹直肌血流 V_{ed} 无相关性。表明 NLBP 患者肌肉组织的弹性与肌肉血流的情况有关。

综上所述,NLBP 患者的腹直肌和腹横肌的 Ave、SD 以及肌肉血流分布小于健康组,腹直肌和腹横肌的 SWE 参数和 SMI 参数对 NLBP 有较高的诊断价值,两者联合能提高其诊断效能。腹直肌 Ave、腹直肌 SD 与腹直肌血流 V_{max} 、腹直肌血流 RI 呈正相关性。但 SWE 应用于 NLBP 评价腹部及腰部肌肉的研究较少,目前缺少统一的测量标准;其次,肌肉本身的复杂性、腹直肌表层的脂肪层对 SWE 可能有一定程度的影响;同时探头压力以及操作者本身的主观因素等也会给研究带来一定影响。并且本研究并未评估不同受试者之间重复测量的可信度。因此,今后还需进一步控制 SWE 的影响因素,使该技术可以作为一项比较稳定可靠的定量监测指标应用于 NLBP 患者的临床检查中,为后续 NLBP 患者的疾病诊断和治疗效果评估提供依据。

[参考文献]

- [1]Hristov B, Nacheva-Georgieva E, Stanchev D, et al. Estimating reference values of parenchymal stiffness of normal pancreatic parenchyma by means of point shear wave elastography [J]. *Folia medica*, 2023, 65(6): 958-968.
- [2]Koppenhaver SL, Weaver AM, Randall TL, et al. Effect of dry needling on lumbar muscle stiffness in patients with low back pain: A double blind, randomized controlled trial using shear wave elastography[J]. *J Man Manip Ther*, 2021, 30(3): 154-164.
- [3]张晋源,马薇,崔海鸥,等. 超微血管成像技术在颈部动脉夹层诊断中的价值[J]. *中风与神经疾病杂志*, 2022, 39(2): 119-122.
- [4]Buran Cirak Y, Yurdaisik I, Elbasi ND, et al. Effect of Sustained Natural Apophyseal Glides on Stiffness of Lumbar Stabilizer Muscles in Patients With Nonspecific Low Back Pain: Randomized Controlled Trial [J]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2021, 44(6): 445-454.
- [5]李绍康,沈燕,郑亮,等. 剪切波弹性成像技术评价针灸治疗慢性下腰痛临床研究[J]. *湖北中医药大学学报*, 2022, 24(3): 100-102.
- [6]Davergne T, Grelier A, Ostertag A, et al. Capacity for extra-spinal muscular effort in chronic non-specific low back pain: a cross-sectional case-control study of 192 patients and 335 controls[J]. *Joint Bone Spine*, 2023, 91(2): 105663.
- [7]中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会专家组. 中国急/慢性非特异性腰痛诊疗专家共识 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, 26(12): 1134-1138.
- [8]Shi LJ, Tian ZY, Wang WY, et al. Scoping review of acupuncture-moxibustion treatment for non-specific low back pain [J]. *Zhongguo Zhong yao za zhi*, 2023, 48(23): 6249-6256.
- [9]Tariq N, Khan Z, Veqar Z. Effect of Whole-Body Vibration on Balance or Proprioception in Nonspecific Chronic Low Back Pain: A Systematic Review[J]. *J Chiropr Med*, 2023, 22(4): 284-293.
- [10]王婧鲜,刘卉,宋琳,等. 剪切波弹性成像技术用于评价排球运动员髌腱弹性恢复情况的研究 [J]. *中国康复医学杂志*, 2022, 37(7): 912-917.
- [11]Bemani S, Sarrafzadeh J, Dehkordi SN, et al. Effect of multidimensional physiotherapy on non-specific chronic low back pain: a randomized controlled trial[J]. *Adv Rheumatol*, 2023, 63(1): 57.
- [12]李建奎,曹向阳,张志杰. 剪切波弹性成像技术量化评估慢性非特异性腰痛患者腹直肌弹性模量的临床研究 [J]. *中国康复医学杂志*, 2021, 36(3): 343-346.
- [13]郑康勇,吴进龙,王雪强. 体力活动对慢性非特异性腰痛患者疼痛和姿势控制的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2023, 38(7): 942-948.
- [14]Cheung WK, Cheung JPY, Lee WN. Role of Ultrasound in Low Back Pain: A Review [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46(6): 1344-1358.
- [15]Bozorgmehr A, Ebrahimi Takamjani I, Akbari M, et al. Reliability of Ultrasound Measurements of the Lumbar Multifidus and Transversus Abdominis Muscles during Lying and Unstable Sitting Positions in Individuals With and Without Chronic Low Back Pain[J]. *J Biomed Phys Eng*, 2023, 13(2): 157-168.
- [16]郭振宇,郝振民,邓宇光. 超微血管成像联合剪切波弹性成像在老年女性乳腺癌中的应用价值[J]. *中国老年学杂志*, 2023, 43(19): 4649-4652.
- [17]Licen U, Kozinc Z. Using Shear-Wave Elastography to Assess Exercise-Induced Muscle Damage: A Review [J]. *Sensors*, 2022, 22(19): 7574-7574.
- [18]石豆子,刘蓉,陈悦,等. 实时剪切波弹性成像技术评估正常人膈肌功能的初步研究[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2023, 34(1): 33-36.
- [19]石丰硕,王惠,曹熠熠,等. 剪切波弹性成像评估宫颈上皮内瘤变患者宫颈锥切术后宫颈硬度变化的研究[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2023, 34(1): 41-45.
- [20]Wang M, Liu J, Meng L, et al. Mapping of lumbar multifidus stiffness Quantification in ankylosing spondylitis with shear-wave elastography[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1): 917-917.
- [21]Gulsaran U, Ustabasioglu f, Gunay B, et al. Evaluation of Accuracy of Shear Wave Elastography and Superb Microvascular Imaging Methods in Diagnosis of Piriformis Syndrome: A Preliminary Study[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2022, 48(12): 2521-2529.
- [22]Feng J, Lu J, Jin C, et al. Diagnostic Value of Superb Microvascular Imaging in Differentiating Benign and Malignant Breast Tumors: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Diagnostics(Basel)*, 2022, 12(11): 2648-2648.