·诊治分析·

高频肌骨超声联合剪切波弹性成像在 AIS 患者椎旁肌检查中的应用

谢红岩，张静，阮彬彬，戚林英，田俊松

【关键词】 超声；青少年特发性脊柱侧凸；椎旁肌
doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.12.019
【中图分类号】 R682.1+3　【文献标志码】 A　【文章编号】 1671-0800(2025)12-1285-03

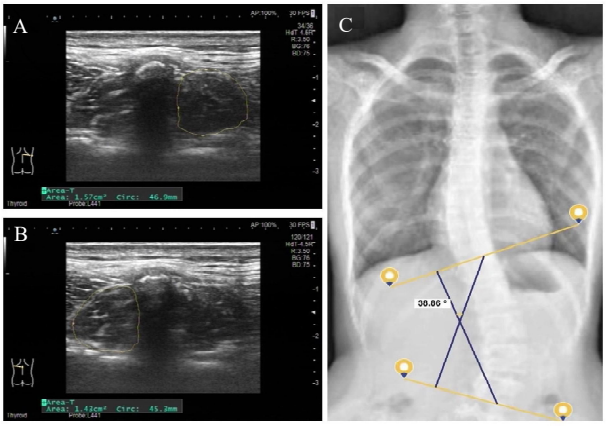
青少年特发性脊柱侧凸（adolescent idiopathic scoliosis，AIS）是一种病因未明的脊柱骨骼肌肉三维畸形疾病，其主要表现为脊柱在冠状面侧弯、旋转及矢状面失衡，常伴肋骨、骨盆不对称和椎旁的韧带、肌肉等异常[1-3]。由于其早期症状隐匿，常被忽视，严重时可影响心肺功能甚至神经系统[4-6]。当前临床以 Cobb 角为 X 线确诊的“金标准”，但反复放射检查易引发患儿及家属的辐射顾虑[7]。近年来，高频肌骨超声凭借其无创、低成本和动态评估肌肉形态的优势，在骨骼肌肉系统疾病中被广泛应用，亦逐步用于 AIS[8-9]。本研究拟通过高频肌骨超声联合剪切波弹性成像，评估不同体位下 AIS 患者椎旁肌的形态结构和内部硬度差异，并分析其与 Cobb 角的相关性，为 AIS 的无创评估、个体化康复与随访提供影像学依据，现报道如下。

1　资料与方法

1.1　一般资料　本研究为非干预性前瞻性研究。收集 2024 年 1 月至 2025 年 6 月于余姚市中医医院就诊的 AIS 患者 50 例。纳入标准：（1）符合 AIS 诊断标准[10-11]；（2）年龄 10 ～ 17 岁；（3）近期 3 个月内拍摄站立位脊柱 X 线片，确定上端椎、顶椎、下端椎并测量 Cobb 角度。排除标准：（1）近 3 个月有规律性的单侧活动或运动；（2）既往有腹腔、骨盆或脊柱相关手术病史；（3）合并严重的心脑血管、肺、肝、肾、血液系统等原发性疾病者及精神疾患；（4）测试前 1 年内曾服用可能影响神经和肌肉系统功能的药物。剔除标准：（1）检查发现透声窗差，无法看到肌肉边缘；（2）依从性较差，沟通障碍或无法配合检查。本研究获得余姚市中医医院伦理委员会批准，所有研究者均同意参加本研究并签署知情同意书。

1.2　方法　采用 ALOKA ARIETTA 60 超声诊断仪进行检查，探头 L441，频率 2 ～ 12 MHz；LOGIQ E8 超声诊断仪，探头 C1-6，频率 1 ～ 6 MHz。患者取站立位，双手自然放于身体两侧，L441 探头于临床医生标记的上端椎、顶椎、下端椎位置水平横切，显示椎旁肌横断面，测量两侧的前后径、左右径、周长、面积并在顶椎位置用 C1-6 探头进行剪切波弹性测量，见图 1。所有患者均进行站立位和俯卧位检查，所有参数均测量 3 次，取平均值。

1.3　统计方法　采用 SPSS 27.0 软件和 R 4.3.1 软件进行统计分析。计量资料以均数±标准差表示，采用 t 检验；相关性分析采用皮尔逊相关性分析。$P<0.05$ 表示差异有统计学意义。



注：A 为超声检查上端椎右侧椎旁肌横断面周长、面积测量示意图；B 为超声检查上端椎左侧椎旁肌横断面周长、面积测量示意图；C 为 X 线片

图 1　超声检查及站立位全脊柱正侧位 X 线片

基金项目：宁波市卫生健康科技计划项目（2023Y79）
作者单位：315400 余姚，余姚市中医医院
通信作者：谢红岩，Email：Drhongyan2970nbu@163.com

2 结果

2.1 基本资料 50例AIS患者中男22例，女28例；年龄10～17岁，平均（13.2±2.1）岁；身高1.43～1.78 m，平均（1.56±0.08）m；体质量45.0～67.0 kg，平均（53.56±5.38）kg；体质量指数16.53～28.36 kg/m^2，平均（22.11±2.52）kg/m^2；Cobb角10.0°～38.9°，平均（18.69±10.19）°；向左侧弯41例，向右侧弯9例。

2.2 两种体位下上端椎两侧椎旁肌参数比较 站立位下，两侧的椎旁肌左右径、前后径、周长及面积参数差异均有统计学意义（均$P<0.05$）；俯卧位下，两侧的椎旁肌左右径、周长及面积参数差异均有统计学意义（均$P<0.05$），前后径差异无统计学意义（$P>0.05$），见表1。

2.3 两种体位下顶椎两侧椎旁肌参数比较 站立位下，两侧的椎旁肌左右径、前后径、周长、面积参数及剪切波弹性数据差异均有统计学意义（均$P<0.05$）；俯卧位下，两侧的椎旁肌左右径、前后径、周长、面积参数及剪切波弹性数据差异均有统计学意义（均$P<0.05$），见表2。

2.4 两种体位下下端椎两侧椎旁肌参数比较 站立位下，两侧椎旁肌左右径、面积参数差异均有统计学意义（均$P<0.05$）；俯卧位下，两侧椎旁肌左右径差异有统计学意义（$P<0.05$），见表3。

2.5 两种体位下顶椎两侧椎旁肌参数差值与Cobb角的相关性 两种体位下，顶椎两侧椎旁肌参数差值与Cobb角均呈正相关（均$P<0.05$）。站立位在左右径、前后径、周长上的相关性系数（0.781、0.761、0.537）均大于俯卧位（0.420、0.441、0.455），站立位在面积上的相关性系数（0.409）与俯卧位（0.433相近），见图2。

表1 两种体位下上端椎两侧椎旁肌参数比较

体位	凹侧	凸侧	t值	P值
站立位				
左右径（mm）	16.08±2.09	14.97±2.51	2.41	＜0.05
前后径（mm）	14.40±1.76	13.68±1.67	2.13	＜0.05
周长（mm）	53.18±6.28	49.37±5.73	3.18	＜0.05
面积（cm^2）	2.03±0.52	1.72±0.42	2.95	＜0.05
俯卧位				
左右径（mm）	16.85±2.51	15.47±3.36	2.33	＜0.05
前后径（mm）	13.75±3.16	13.39±2.95	0.59	＞0.05
周长（mm）	53.23±6.62	49.89±5.70	3.40	＜0.05
面积（cm^2）	2.70±1.41	2.22±1.40	2.35	＜0.05

表2 两种体位下顶椎两侧椎旁肌参数比较

体位	凹侧	凸侧	t值	P值
站立位				
左右径（mm）	20.63±3.33	18.59±3.18	2.95	＜0.05
前后径（mm）	18.47±2.99	17.26±2.33	2.21	＜0.05
周长（mm）	67.30±9.74	61.57±8.26	5.53	＜0.05
面积（cm^2）	3.20±1.01	2.66±0.81	3.37	＜0.05
剪切波（kPa）	5.35±0.69	4.61±0.59	3.44	＜0.05
俯卧位				
左右径（mm）	21.60±3.46	19.35±3.58	2.67	＜0.05
前后径（mm）	18.24±4.24	17.04±3.74	2.76	＜0.05
周长（mm）	67.29±10.35	61.97±8.08	3.05	＜0.05
面积（cm^2）	3.26±2.02	2.7 ±1.24	2.08	＜0.05
剪切波（kPa）	5.00±1.41	4.15±1.65	2.08	＜0.05

表3 两种体位下下端椎两侧椎旁肌参数比较

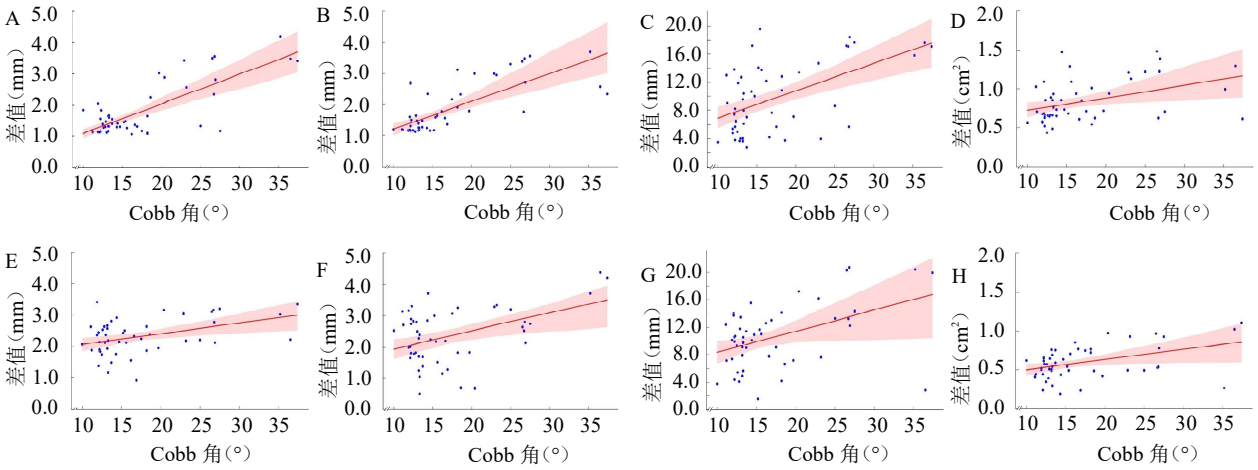
体位	凹侧	凸侧	t值	P值
站立位				
左右径（mm）	24.07±3.26	22.92±3.75	2.26	＜0.05
前后径（mm）	18.93±2.37	18.17±1.67	1.62	＞0.05
周长（mm）	74.77±7.76	72.38±8.36	1.72	＞0.05
面积（cm^2）	4.03±0.88	3.67±0.93	2.17	＜0.05
俯卧位				
左右径（mm）	24.62±4.22	22.79±4.25	2.05	＜0.05
前后径（mm）	18.73±3.50	17.62±3.07	1.61	＞0.05
周长（mm）	74.66±7.99	72.14±9.01	1.48	＞0.05
面积（cm^2）	4.03±2.47	3.98±2.66	0.40	＞0.05

3 讨论

高频肌骨超声联合剪切波弹性成像兼具形态结构学与硬度评估功能，凭借其无创、无辐射及动态实时成像优势，已成为评估肌肉骨骼系统的重要工具。本研究用该技术，并引入站立位和俯卧位两种常用超声检查体位，探讨AIS椎旁肌的形态结构、内部硬度差异及与Cobb角度之间的相关性。

本研究结果显示，站立位与俯卧位均能有效反映AIS患者脊柱两侧椎旁肌的形态与硬度不对称。其中，顶椎两侧的参数差异最显著，上端椎次之，且站立位检查的阳性率相对优于俯卧位。顶椎两侧的参数差值与Cobb角呈正相关，且站立位下的相关系数普遍更高。这表明AIS患者椎旁肌的不平衡不仅表现为解剖形态改变，更伴随内部张力与硬度的失衡。通常认为肌肉形态参数与肌力呈正相关，本研究结果提示顶椎两侧的肌力失衡最为关键，且在直立负重状态下这种失衡更为凸显。因此，建议临床评估时采用双体位扫查，重点关注站立位扫查及顶椎两侧的测量参数与硬度变化，以避免假阴性结果。

既往关于AIS的评估多集中于单一模态。如Maeda等[12]利用卷积神经网络实现了AIS患者Cobb角的自动化测量，虽提高了效率，但主要聚焦于静态



注：A 为站立位 Cobb 角与顶椎两侧椎旁肌左右径差值的相关性；B 为站立位 Cobb 角与顶椎两侧椎旁肌前后径差值的相关性；C 为站立位 Cobb 角与顶椎两侧椎旁肌周长差值的相关性；D 为站立位 Cobb 角与顶椎两侧椎旁肌面积差值的相关性；E 为俯卧位 Cobb 角与顶椎两侧椎旁肌左右径差值的相关性；F 为俯卧位 Cobb 角与顶椎两侧椎旁肌前后径差值的相关性；G 为俯卧位 Cobb 角与顶椎两侧椎旁肌周长差值的相关性；H 为俯卧位 Cobb 角与顶椎两侧椎旁肌面积差值的相关性

图 2　两种体位下顶椎两侧椎旁肌参数差值与 Cobb 角的相关性

骨性结构，没有涉及对病情进展起着重要作用的软组织因素。近期有学者尝试利用三维超声（Scoliosccan）进行站立位扫查，虽实现了体积量化，但尚缺乏对肌肉内部硬度功能的深入评估[13]。本研究的双体位多参数模式不仅弥补了上述不足，更通过对硬度的检测反映肌肉内部的功能状态。

本研究显示椎旁肌的结构功能异常与Cobb角密切相关，表明肌肉失衡在AIS发生发展中具有重要作用，这与既往研究报道一致[14]，提示早期诊疗的重要性，并提示临床医生在制定矫正方案时，除关注骨骼外，应同步纳入针对脊柱椎旁肌群的平衡性康复治疗。

综上所述，高频肌骨超声联合剪切波弹性成像可以清晰的显示椎旁肌，有效观测形态结构学参数及内部硬度差异，监测、评估肌肉的变化，为临床全面的评估AIS患者病情、指导整体性、系统性治疗和治疗后评估提供有价值的辅助信息。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

参　考　文　献

[1] MARIN L, KAWCZYNSKI A, CARNEVALE PELLINO V, et al. Displacement of centre of pressure during rehabilitation exercise in adolescent idiopathic scoliosis patients[J]. J Clin Med, 2021, 10 (13): 2837.

[2] 梁慧,梅晰凡.青少年特发性脊柱侧凸保守治疗及中西医结合治疗的研究进展[J].中国中西医结合儿科学,2025,17(05):392-396.

[3] LIANG Z T, LI J, TANG H, et al. Critical role of NLRP3 in causing paravertebral muscle injury in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Clinical & Translational Med, 2024, 14(2): e1528.

[4] VERGARI C, CHEN Z W, ROBICHON L, et al. Towards a predictive simulation of brace action in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Comput Meth Biomech Biomed Eng, 2021, 24(8): 874-882.

[5] JIANG J, MENG Y C, JIN X M, et al. Volumetric and fatty infiltration imbalance of deep paravertebral muscles in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Med Sci Monit, 2017, 23: 2089-2095.

[6] 黄晓丽,吴爱悯,舒真谛,等.家庭特定性运动联合矫形支具治疗中度青少年特发性脊柱侧凸的疗效观察[J].现代实用医学,2023,35(3):384-387.

[7] NG S Y, BETTANY-SALTIKOV J. Imaging in the diagnosis and monitoring of children with idiopathic scoliosis[J]. Open Orthop J, 2017, 11(1): 1500-1520.

[8] RAHMANI N, KARIMIAN A, ALI MOHSENI-BANDPEI M, et al. Reliability of sonography in the assessment of lumbar stabilizer muscles size in healthy subjects and patients with scoliosis[J]. J Bodyw Mov Ther, 2019, 23(1): 138-141.

[9] ZAPATA K A, WANG-PRICE S S, SUCATO D J, et al. Ultrasonographic measurements of paraspinal muscle thickness in adolescent idiopathic scoliosis: A comparison and reliability study[J]. Pediatr Phys Ther, 2015, 27(2): 119-125.

[10] JONES J Y, SAIGAL G, PALASIS S, et al. ACR appropriateness criteria® scoliosis-child[J]. J Am Coll Radiol, 2019, 16(5): S244-S251.

[11] 白玉树,陈锴,邵杰,等.青少年特发性脊柱侧凸诊疗专家共识[J].海军军医大学学报,2025,46(03):291-300.

[12] MAEDA Y, NAGURA T, NAKAMURA M, et al. Automatic measurement of the Cobb angle for adolescent idiopathic scoliosis using convolutional neural network[J]. Sci Rep, 2023, 13: 14576.

[13] 吕丹宇. 基于三维超声成像的青少年特发性脊柱侧凸患者椎旁肌体积的量化研究[D].广州:广州体育学院,2024.

[14] PENG Y, WANG S R, QIU G X, et al. Research progress on the etiology and pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis[J]. Chin Med J, 2020, 133(4): 483-493.

收稿日期：2025-11-10

（本文编辑：吴迪汉）