❖骨骼肌肉影像学

Multimodal ultrasound for evaluating severity of carpal tunnel syndrome

LIU Weijie, YAN Yumei, HOU Xiukun, ZHANG Zhirou, LI Xiaoyu*
(*Department of Ultrasound, the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian* 116011, *China*)

[**Abstract**] **Objective** To observe the value of multimodal ultrasound for evaluating severity of carpal tunnel syndrome (CTS). **Methods** A total of 60 patients with CTS were retrospectively enrolled and divided into mild group (n=13), moderate group (n=17) and severe group (n=30) based on results of electrodiagnostic testing. Shear wave elastography, superb microvascular imaging and gray-scale ultrasonography of median nerve were performed. The ultrasonic parameters were compared among groups using univariate analysis of variance, and those being statistically different ($P<0.05$) were enrolled in multivariate logistic regression analysis. Then a CTS grading diagnostic model was constructed with stepwise regression, and its efficacy for evaluating severe CTS was analyzed. **Results** Longitudinal vascular index (L-VI) at the entrance of carpal tunnel, cross-sectional area at the tunnel inlet (CSA-I) of median nerve and the difference of cross-sectional area between the wrist and forearm (△CSA) could be used to differentiate severe CTS. A combined model was constructed based on patient's age and CSA-I, which achieved a specificity of 86.67%. **Conclusion** L-VI, CSA-I and △CSA could be used to identify severe CTS. The combined model based on patient's age and CSA-I could improve efficacy for evaluating severe CTS.

[**Keywords**] carpal tunnel syndrome; ultrasonography
DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2025.12.023

多模态超声评估腕管综合征严重程度

刘伟杰,闫玉梅*,侯秀昆,张至柔,李晓玉
(大连医科大学附属第一医院超声科,辽宁 大连 116011)

[**摘　要**] **目的** 观察多模态超声评估腕管综合征(CTS)严重程度的价值。**方法** 回顾性纳入 60 例确诊 CTS 患者,根据电诊断测试结果将其分为轻(n=13)、中(n=17)及重度组(n=30)。对正中神经行剪切波弹性成像、超微血管成像和灰阶超声检查,以单因素方差分析比较各组超声参数;将差异有统计学意义($P<0.05$)的参数纳入多因素 logistic 回归分析,通过逐步回归构建分级诊断 CTS 模型,观察其鉴别重度 CTS 的效能。**结果** 基于腕管入口处纵轴血管指数(L-VI)、正中神经腕管入口处横截面积(CSA-I)及腕-前臂横截面积差值(△CSA)均可用于诊断重度 CTS;联合患者年龄和 CSA-I 构建的联合模型鉴别重度 CTS 的特异度为 86.67%。**结论** L-VI、CSA-I 和△CSA 均能用于鉴别重度 CTS;基于年龄和 CSA-I 的联合模型可进一步提高鉴别重度 CTS 效能。

[**关键词**] 腕管综合征;超声检查
[**中图分类号**] R745.4;R445.1 [**文献标识码**] A [**文章编号**] 1003-3289(2025)12-2045-05

腕管综合征(carpal tunnel syndrome, CTS)是最常见的神经压迫病变[1],系正中神经行经腕管时受卡压所致,常见于女性,与某些需要高频重复进行手部动作的职业密切相关[2]。长期以来临床依赖电诊断测试(electrodiagnostic testing, EDT)诊断 CTS 和评估其严重程度,但该方法耗时、引发疼痛且敏感度有限。高

[**第一作者**] 刘伟杰(1999—),女,内蒙古包头人,硕士,医师。研究方向:肌肉骨骼超声。E-mail: 961317607@qq.com
[**通信作者**] 闫玉梅,大连医科大学附属第一医院超声科,116011。E-mail: ymyan1980@163.com

[**收稿日期**] 2025-04-10 [**修回日期**] 2025-11-16

频超声、剪切波弹性成像(shear wave elastography, SWE)[3-4]和超微血管成像(superb microvascular imaging, SMI)[5]等可为评估 CTS 提供神经形态、硬度及血流灌注等信息[6]。已有研究[7-8]证实超声对 CTS 具有较好的诊断能力,但对其参数与基于 EDT 严重程度的分级之间的关联尚不明确。本研究观察多模态超声评估 CTS 严重程度的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性纳入 2023 年 9 月—2024 年 5 月大连医科大学附属第一医院 60 例 CTS,男 13 例、女 47 例,年龄 33～86 岁、平均(55.9±1.3)岁;左侧 23 例、右侧 37 例;均符合美国神经病学会临床诊断 CTS 标准[9],即满足下列⑤及其余 4 项中的至少 1 项:①患肢拇指、示指、中指或环指桡侧麻木或疼痛,随固定活动而加重,休息或摆动双手后缓解;②桡侧三根半指感觉障碍或无力;③鱼际肌不同程度萎缩;④蒂内尔(Tinel)征或腕掌屈试验(Phalen test)阳性;⑤EDT 示正中神经感觉传导速度减慢或潜伏期延长。排除标准:①存在神经系统疾病,如颈椎病、臂丛损伤、多神经病变、旋前圆肌综合征、神经炎、正中神经损伤及神经瘤等;②腕部手术及骨折病史;③腕管内占位性病变。根据 EDT 结果划分轻(n=13)、中(n=17)及重度组(n=30):以无运动缺陷的感觉损伤为轻度,感觉和运动联合损伤为中度,缺乏感觉或同时缺乏感觉和运动反应为重度 CTS[10]。本研究通过医院伦理委员会批准(PJ-KS-KY-2024-326)。

1.2 仪器与方法 由 1 名具有 25 年工作经验且不知晓 EDT 结果的超声科主任医师采用 Canon Aplio i900 彩色多普勒超声诊断仪进行检查。为避免操作者因灰阶超声显示神经横截面积(cross-sectional area, CSA)增大而预先形成“疑似 CTS”的主观判断、进而影响后续 SWE 和 SMI 检查的客观性,先行 SWE 与 SMI,而后保持设置相同而行灰阶超声扫查。嘱患者坐于检查床旁,使手臂处于中立位,在神经高回声边缘追踪并测量正中神经 CSA;间隔 10 min 后选取 30 例,重复测量所有参数,将结果用于一致性检验。

1.2.1 SWE 利用频率 18 MHz 的 i18LX5 高频超声线阵探头于腕管水平扫查正中神经横切面,将探头旋转 90°获得矢状面图像;尽量使声束与正中神经垂直,转换为 SWE 模式,选取最小 ROI,选择质量模式,于彩色竖条纹较均匀时冻结画面,在速度模式图所示正中神经内设置直径 1 mm 的圆形 ROI,同时测量 3 个 ROI 的剪切波弹性模量并获得平均值(图 1);每个位置测量 3 次,最终获得腕管入口正中神经剪切波弹性模量(shear wave elastic modulus at the tunnel inlet, SWE-I)和旋前方肌近端 1/3 处正中神经剪切波弹性模量(shear wave elastic modulus at proximal to the pronator quadratus muscle, SWE-P)的平均值,并计算腕-前臂硬度比(SWE-I/SWE-P, R-SWE)及腕-前臂硬度差值(SWE-I－SWE-P, △SWE)。

1.2.2 SMI 以频率 24 MHz 的 i24LX8 高频超声线阵探头于腕管入口水平评估正中神经血管状况。启动 SMI 模式,获得腕管入口正中神经横切面血管指数(transverse vascular index, T-VI)平均值;将探头旋转 90°,使之与正中神经平行,在桡骨远端边缘和横韧带近端边缘之间 1 cm 宽的区域内测量正中神经纵轴血管指数(longitudinal vascular index, L-VI)。见图 2。

1.2.3 灰阶超声 采用频率 18 MHz 的 i18LX5 高频超声线阵探头测量正中神经在舟状骨-豌豆骨水平的腕管入口处 CSA(CSA at the tunnel inlet, CSA-I)和旋前方肌近端 1/3 处 CSA(CSA at proximal to the pronator quadratus muscle, CSA-P),见图 3;计算腕-前臂比(CSA-I/CSA-P, R-CSA)和腕-前臂差值(CSA-I－CSA-P, △CSA)。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 26.0 统计分析软件。以 $\bar{x}\pm s$ 表示符合正态分布的计量资料,行独立样本 t 检验;采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率法比较分类变量。利用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)评估检查结果的一致性,以 ICC＞0.75 为一致性良好。采用单因素方差分析比较各组超声参数,将差异有统计学意义的参数纳入多因素 logistic 回归分析,通过逐步回归建立模型。绘制受试者工作特征(receiver perating characteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve, AUC),评估各参数及模型的效能,并以 DeLong 检验进行比较。P＜0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料 轻、中度组患者年龄均小于重度组(P 均＜0.05);组间性别、身高及体质量差异均无统计学意义(P 均＞0.05),见表 1。

2.2 一致性检验 观察者内测量 SWE-I、SWE-P、T-VI、L-VI、CSA-I 及 CSA-P 的 ICC 分别为 0.887、0.950、0.902、0.904、0.896 及 0.774,一致性均良好(P 均＜0.05)。

2.3 超声参数比较 轻、中度组 L-VI、CSA-I、△CSA 均小于重度组(P 均＜0.05);轻度组 R-CSA 小于重度组(P＜0.05)。见表 2。

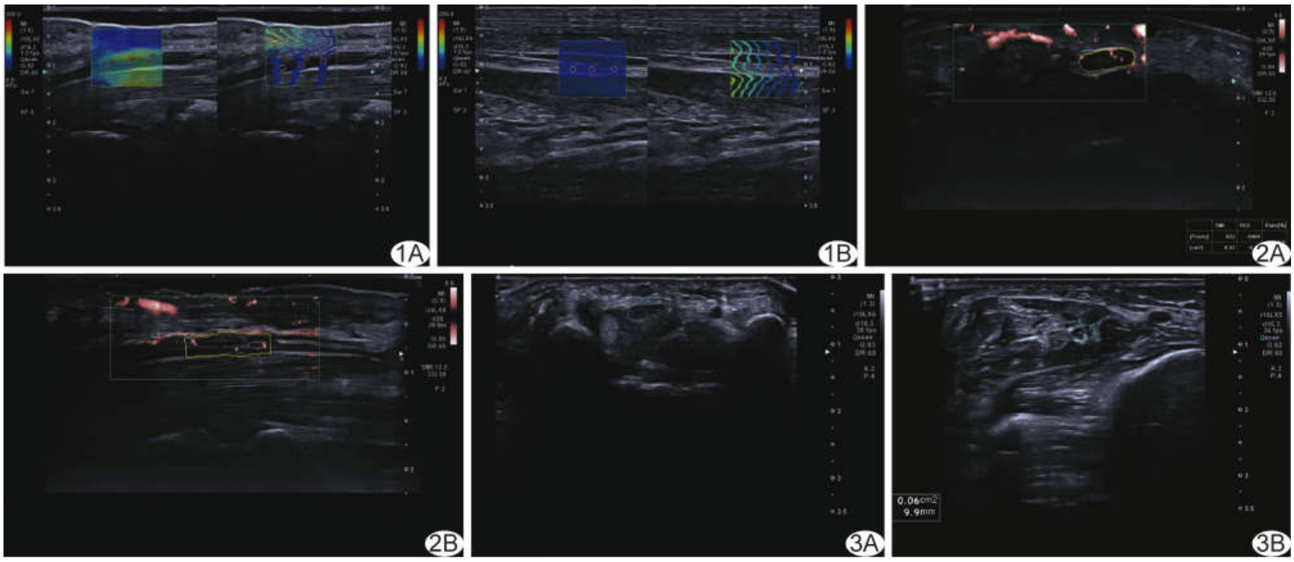

图 1　患者女，55 岁，右侧 CTS，以 SWE 于正中神经不同位置测量其剪切波弹性模量　A.腕管入口处；B.旋前方肌近端 1/3 处　**图 2**　患者女，55 岁，右侧 CTS，以 SMI 测量正中神经内血管指数　A.T-VI；B.L-VI　**图 3**　患者女，40 岁，右侧 CTS，以灰阶超声于不同位置测量正中神经 CSA　A.腕管入口处；B.旋前方肌近端 1/3 处

表 1　轻、中及重度 CTS 患者一般资料比较

组别	性别(例)		年龄(岁)	身高(m)	体质量(kg)
	男	女			
轻度组(n=13)	1	12	53.9±8.2*	1.61±0.05	67.77±16.04
中度组(n=17)	6	11	49.5±9.9*	1.63±0.06	66.47±10.95
重度组(n=30)	6	24	60.7±8.9	1.61±0.06	68.67±11.28
F/χ^2 值	3.405		8.798	0.819	0.172
P 值	0.182		<0.001	0.446	0.843

注：*：与重度组比较 P<0.05

表 2　轻、中及重度 CTS 超声多模态参数比较组别

组别	SWE				SMI		灰阶超声			
	SWE-I (kPa)	SWE-P (kPa)	R-SWE	△SWE (kPa)	T-VI	L-VI	CSA-I (mm^2)	CSA-P (mm^2)	R-CSA	△CSA (mm^2)
轻度组(n=13)	68.82±15.68	33.66±14.57	2.40±1.09	35.16±22.42	7.31±4.86	5.93±3.83*	12.12±1.92*	6.23±1.30	1.99±0.37*	5.88±1.58*
中度组(n=17)	70.32±16.83	41.60±17.22	1.94±0.79	28.72±21.03	7.50±4.03	6.18±2.75*	14.82±3.30*	6.88±1.96	2.28±0.78	7.94±3.23*
重度组(n=30)	58.70±20.26	32.59±12.32	2.04±1.04	26.11±23.70	8.55±5.00	9.26±4.27	18.87±7.57	6.92±1.23	2.80±1.24	11.95±7.60
F 值	2.678	2.266	0.899	0.72	0.432	5.177	7.007	1.051	3.472	5.952
P 值	0.077	0.113	0.413	0.491	0.651	0.009	0.002	0.356	0.038	0.004

注：*：与重度组比较 P<0.05

2.4　构建模型　重度组患者年龄及 L-VI、CSA-I、△CSA 均与其他组存在差异，将之纳入多因素分析；逐步 logistic 回归分析发现仅年龄和 CSA-I 均为重度 CTS 的独立预测因素(P 均<0.05)，见表 3。将 EDT 作为诊断重度 CTS 的标准，绘制 L-VI、CSA-I、△CSA 及联合模型(年龄和 CSA-I)的 ROC 曲线(图 4)，结果显示联合模型 AUC 最大(0.860)，但与各单一参数 AUC 差异均无统计学意义(P 均>0.05)。见表 4。

3　讨论

CTS 是最常见的外周神经压迫性疾病；超声以其便捷、无创、高效等优势成为诊断 CTS 的有用工具[8,11]。

本研究结果显示，L-VI、CSA-I 及△CSA 对于重度 CTS 均有一定鉴别能力。CSA-I 为 14.50 mm^{2}时，其诊断重度 CTS 的敏感度较高(76.67%)，可能与腕管长期压迫导致正中神经缺血、纤维增生及外膜增厚，

表 3　多因素 logistic 逐步回归分析结果

参数	B 值	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值(95%CI)
年龄(岁)	0.126	0.043	8.466	0.004	1.134(1.042,1.234)
L-VI	0.140	0.095	2.170	0.141	1.151(0.955,1.387)
CSA-I(mm^2)	0.297	0.104	8.130	0.004	1.345(1.097,1.649)
△CSA(mm^2)	0.052	0.226	0.053	0.819	1.053(0.677,1.639)
截距	−11.598	3.255	12.698	<0.001	0(0,0.005)

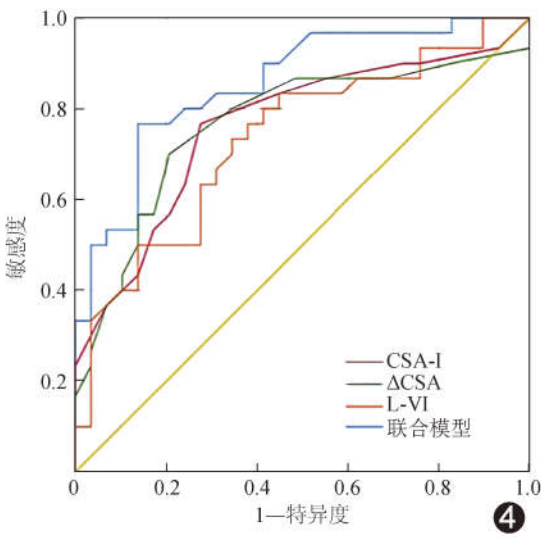

图 4　CSA-I、△CSA、L-VI 及联合模型诊断重度 CTS 的 ROC 曲线

表 4　CSA-I、△CSA、L-VI 及联合模型诊断重度 CTS 效能

参数	AUC	约登指数	最佳截断值	敏感度(%)	特异度(%)	准确率(%)
L-VI	0.732	0.389	6.70	73.33	65.52	73.22
CSA-I(mm^2)	0.763	0.491	14.50	76.67	72.41	76.26
△CSA(mm^2)	0.766	0.493	8.50	70.00	79.31	76.61
联合模型	0.860	0.633	—	76.67	86.67	86.00

最终导致 CSA 增大有关[12]。ROOMIZADEH 等[13]对 16 项相关研究进行荟萃分析，根据 EDT 结果评估 CSA-I 对 CTS 严重程度的分级能力并得到相应阈值，结果显示轻、中及重度 CTS 的 CSA-I 分别为 11.64、13.74 及 16.80 mm^2。本研究与上述研究结果均证实 CSA-I 对 CTS 严重程度具有分级能力，而截断值存在差异，可能原因如下：①EDT 分类标准不同；②观察对象不同，CSA-I 与身高、体质量和种族等因素密切相关。

既往多数研究以半定量指标诊断与评估 CTS[14]，客观性有限。本研究利用 SMI 通过血管指数定量评估正中神经血流，发现 L-VI 可用于鉴别重度 CTS。本研究所涉 3 个参数中，△CSA 诊断重度 CTS 的准确率最高，但各参数间准确率差异无统计学意义（$P<0.05$）；考虑到△CSA 需要在 2 个水平测量 CSA，在更加耗时的同时并未显著提高鉴别重度 CTS 能力，故推荐以 CSA-I 作为鉴别重度 CTS 的首选超声参数。为进一步提高诊断效能，本研究基于患者年龄与 CSA-I 构建的联合模型预测重度 CTS 的准确率为 86.00%、特异度为 86.67%，这意味着基于该模型能有效排除非重度病例、减少过度治疗，可作为精准识别重度 CTS 的更为有效的工具；但其与单一指标的准确率差异并无统计学意义（P 均<0.05），可能与本研究样本量有限有关，有待未来扩大样本量进一步观察。

沈素红等[15]研究未发现 CTS 严重程度与神经僵硬度之间存在相关性。本研究轻、中及重度组间 SWE 各参数亦未见显著差异（P 均>0.05）。既往研究[3,16]显示，正中神经硬度随 CTS EDT 所示严重程度增加而增高，但根据弹性值均未能完全区分不同程度 CTS。SWE 在操作中易受到操作人员熟练程度、骨邻近硬化伪影[17]等因素影响而造成测值异质性，未来需优化测量步骤与位置以减少干扰。

综上所述，CSA-I、△CSA 及 L-VI 均可鉴别重度 CTS；基于年龄和 CSA-I 的联合模型可进一步提高鉴别重度 CTS 效能。但本研究为单中心、回顾性分析，样本量有限、尤其轻度组，可能存在选择偏倚，有待后续进一步观察。

利益冲突：全体作者声明无利益冲突。

作者贡献：刘伟杰查阅文献、图像处理、撰写文章；闫玉梅和侯秀昆修改和审阅文章；张至柔和李晓玉研究实施、数据分析。

［参考文献］

[1] HARINESAN N, SILSBY M, SIMON N G. Carpal tunnel syndrome[J]. Handb Clin Neurol, 2024, 201:61-88.

[2] 赵怡然，郑亦沐，关里.职业性腕管综合征的风险因素研究进展[J].中华劳动卫生职业病杂志，2025，43(2):156-160.

[3] SERNIK R A, PEREIRA R F B, CERRI G G, et al. Shear wave

elastography is a valuable tool for diagnosing and grading carpal tunnel syndrome[J]. Skeletal Radiol, 2023,52(1):67-72.

[4] 刘丹妮,冉海涛,敖梦.超声弹性成像诊断腕管综合征进展[J].中国医学影像技术,2022,38(4):607-610.

[5] LIN T Y, SHEN P C, CHANG K V, et al. Assessment of the carpal tunnel and associated neural structures with superb microvascular imaging: A scoping review[J]. Expert Rev Med Devices, 2024,21(1-2):141-147.

[6] BORDALO M, GULDE M L S, HAGERT E. Imaging on the painful and compressed nerve: Upper extremity[J]. Int Orthop, 2025,49(4):815-825.

[7] 辛敏慧,史姝,李忠举,等.高频超声联合剪切波弹性成像对腕管综合征的诊断价值[J].中国临床医学影像杂志,2024,35(2):129-132.

[8] ERICKSON M, LAWRENCE M, LUCADO A. The role of diagnostic ultrasound in the examination of carpal tunnel syndrome: An update and systematic review[J]. J Hand Ther, 2022,35(2):215-225.

[9] XU C, ZHOU Y, HE Z, et.al. Difference and ratio of the cross-sectional area of median nerve at the carpal tunnel and the pronator quadratus muscle in diagnosing carpal tunnel syndrome: A cross-sectional study[J]. Ann Transl Med, 2022,10(6):340.

[10] BENLI KÜÇÜK E. Temporal changes in electrophysiological parameters in untreated patients with carpal tunnel syndrome[J]. Cureus, 2023,15(9):e46039.

[11] TOMAŽIN T, PUŠNIK L, ALBANO D, et al. Multiparametric ultrasound assessment of carpal tunnel syndrome: Beyond nerve cross-sectional area[J]. Semin Musculoskelet Radiol, 2024,28(6):661-671.

[12] DEEG J, MÜNDEL F, LOIZIDES A, et al. Intraneural vascularity of the median, ulnar and common peroneal nerve: Microvascular ultrasound and pathophysiological implications[J]. Australas J Ultrasound Med, 2023,26(3):175-183.

[13] ROOMIZADEH P, EFTEKHARSADAT B, ABEDINI A, et al. Ultrasonographic assessment of carpal tunnel syndrome severity a systematic review and meta-analysis[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2019,98(5):373-381.

[14] ENDO T, MATSUI Y, KAWAMURA D, et al. Diagnostic utility of superb microvascular imaging and power Doppler ultrasonography for visualizing enriched microvascular flow in patients with carpal tunnel syndrome[J]. Front Neurol, 2022, 31(13):832569.

[15] 沈素红,耿丰勤,付卓,等.腕管综合征正中神经病变多模态超声与神经电生理的对比研究[J].中国超声医学杂志,2023,39(6):688-692.

[16] MORAN L, ROYUELA A, de VARGAS A P, et al. Carpal tunnel syndrome: Diagnostic usefulness of ultrasound measurement of the median nerve area and quantitative elastographic measurement of the median nerve stiffness[J]. J Ultrasound Med, 2020,39(2):331-339.

[17] CHANDEL K, PRAKASH M, SINHA A, et al. Role of shear wave elastography of synovium to differentiate rheumatoid and tubercular arthritis[J]. J Med Ultrasound, 2022,30(1):30-35.