



电子、语音版

·综述·

神经电生理在肘管综合征诊断与评估中的应用进展

刘枫¹, 宋启民², 车峰远³

1. 山东第二医科大学临床医学院, 山东 潍坊 261000

2. 临沂市人民医院神经外科, 山东 临沂 276000

3. 临沂市人民医院神经内科, 山东 临沂 276000

摘要: 肘管综合征是一种常见的上肢周围神经压迫综合征, 以尺神经支配区域感觉异常和手内在肌萎缩无力为主要表现, 病情严重时可导致患者残疾, 影响患者的日常生活。电生理检查包括肌电图和神经传导检查, 是诊断肘管综合征的金标准, 在评估尺神经功能状态中起着关键作用。近年来, 高频超声和磁共振成像也逐渐与电生理结合应用到肘管综合征的诊断中, 显著提高了诊断率。该文就当前电生理检查及影像学技术诊断肘管综合征的最新进展进行总结, 以为后续研究方向提供依据。

关键词: 肘管综合征; 电生理; 术中监测; 高频超声检查; 磁共振成像

中图分类号: R745. 4+9

DOI: 10. 16636/j. enki. jinn. 1673-2642. 2025. 05. 013

Advances in the application of neurophysiology in the diagnosis and evaluation of cubital tunnel syndrome

LIU Feng¹, SONG Qimin², CHE Fengyuan³

1. School of Clinical Medicine, Shandong Second Medical University, Weifang, Shandong 261000, China

2. Department of Neurosurgery, Linyi People's Hospital, Linyi, Shandong 276000, China

3. Department of Neurology, Linyi People's Hospital, Linyi, Shandong 276000, China

Corresponding author: SONG Qimin, Email: songqimin-123@163.com; CHE Fengyuan, Email: che1971@126.com

Abstract: Cubital tunnel syndrome is a common compressive peripheral neuropathy of the upper limb mainly characterized by paresthesia in the area innervated by the ulnar nerve and atrophy/weakness of the intrinsic hand muscles, and it can lead to disability in severe cases and thus significantly impact the daily life of patients. Electrophysiological examinations, including electromyography and nerve conduction studies, are considered the gold standard for the diagnosis of cubital tunnel syndrome, playing a crucial role in assessing ulnar nerve function. In recent years, high-frequency ultrasound and magnetic resonance imaging have been combined with electrophysiological techniques in the diagnosis of cubital tunnel syndrome, which significantly improves diagnostic accuracy. This article summarizes the latest advances in the application of electrophysiological examinations and imaging techniques in the diagnosis of cubital tunnel syndrome, in order to provide a basis for future research directions.

Keywords: cubital tunnel syndrome; electrophysiology; intraoperative monitoring; high-frequency ultrasound; magnetic resonance imaging

基金项目: 山东省医药卫生科技项目(202304040611); 山东省自然科学基金面上项目(ZR2022MH119)。

收稿日期: 2025-01-04; 修回日期: 2025-10-10

作者简介: 刘枫(1999—), 女, 研究生在读, 主要从事神经电生理等临床与基础研究。Email: LiuuWF@163.com。

通信作者: 宋启民(1981—), 男, 副主任医师, 硕士, 主要从事神经电生理等临床与基础研究。Email: songqimin-123@163.com。

车峰远(1971—), 男, 主任医师, 博士, 主要从事神经电生理等临床与基础研究。Email: che1971@126.com。

肘管综合征是由于肘部尺神经受到持续压迫或牵拉等原因导致的神经卡压性疾病。在早期阶段,其症状较为隐匿,仅靠临床表现和体格检查往往难以确诊,尤其是轻中度病例更易被忽视。神经电生理检查是评估外周神经损害的客观工具,在肘管综合征的诊断中具有重要意义。本文围绕神经电生理技术在肘管综合征中的应用现状与进展进行综述,旨在就当前电生理检查及影像学技术诊断肘管综合征的最新进展进行总结,为肘管综合征诊断、治疗方案及预后评估提供参考依据。

1 肘管综合征的病理和临床表现

临床上尺神经在肘部、前臂和手腕部均易发生损伤,但由于尺神经在肘部尺神经沟位置解剖较为表浅,因而更易受到外力压迫或牵拉造成伤害。肘部发生嵌压、骨折及肘关节脱位等均可导致肘管综合征。同时,部分患者因受到职业因素影响,如长时间进行手工劳动等,致使肘部长时间反复处于屈曲位,筋膜被拉紧就会造成神经沟变窄,肘管空间减小、管内压力增大,导致尺神经在狭窄肘管内遭到机械性摩擦与牵拉,从而引发慢性损伤。早期,尺神经发生局部缺血,导致血-神经屏障的破坏和微循环障碍,阻断了轴浆运输,进而引发神经内水肿和周围组织弹性消失。中晚期时,神经束间结缔组织增生、神经外膜增厚,使得神经硬化、棱形膨大,最终可能导致“瘤样变”,并引起沃勒变性而发生轴突丢失^[1],从而导致肘管综合征的发生。在病变初期,患者临床表现为小指和无名指的感觉异常,比如麻木、刺痛。随着病情的发展,患者逐渐表现手部肌肉无力,严重者可出现手部固有肌肉萎缩及环、小指呈爪状畸形,症状常呈间歇性,在夜间疼痛加重。如果持续的尺神经损伤未经治疗或者处理不合适时,患者也可能会并发尺神经坏死、继发性关节挛缩等^[2]。因此,及早诊断和准确评估病变的严重程度,并据此制定有效的治疗和康复方案,避免不可逆的肌肉萎缩和功能障碍至关重要。

2 神经电生理检查

2.1 神经电生理检查概述

神经电生理检查包括肌电图(electromyogram, EMG)和神经传导检查(nerve conduction study, NCS),是诊断肘管综合征的金标准。作为一种侵入性手段,神经电生理检查能够准确确定尺神经的损害部位,评估其功能状态,判断是否发生神经功能障碍、变性以及损害程度。

目前, Kincaid^[3]提出的神经电生理诊断标准被广泛应用,该标准包括,(1)肘上至肘下运动神经传导速度(motor nerve conduction velocity, MNCV)小于 49 m/s;(2)损伤部位在肘部,肘上至肘下 MNCV 比肘下 5 cm 至腕部 MNCV 慢 11.4 m/s;(3)肘上比肘下刺激引出的复合肌肉动作电位(compound muscle action potential, CMAP)波幅减少超过 20%(不能单独作为诊断依据);(4)肘上比肘下

刺激引出 CMAP 明显离散(不能单独作为诊断依据);(5)局部神经传导阻滞和神经传导减慢,当 2 次 CMAP 波幅下降超过 1/2 或潜伏期差超过 0.4 ms 时,远端潜伏期超过 4.5 ms 为异常,CMAP 离散度增加为异常,CMAP 与感觉神经动作电位(sensory nerve action potential, SNAP)消失为异常;(6)神经动作电位(nerve action potential, NAP)波幅下降超过 1/2。

2.2 NCS

通过电刺激神经并记录远端肌肉的反应时间,NCS 主要测量 CMAP 的振幅、速度和潜伏期,主要包括 MNCV 和感觉神经传导速度(sensory nerve conduction velocity, SNCV)等。NCS 用来定位神经损伤的区域,在肘管综合征患者的患侧肘关节处,被卡压的尺神经由于缺血和脱髓鞘等改变,神经的传导功能就会受损,所以肘部的传导速度显著减慢,特别是通过肘管区域的运动和感觉纤维以及 CMAP 波幅降低。

运动 NCS 能更好地识别局灶性传导阻滞或微妙的潜伏期偏移,所以跨肘段的 MVCV 能更准确地定位肘部周围损伤以及脱髓鞘的程度。CMAP 波幅则可以很好地诊断肘管综合征术前的尺神经功能损伤,也能分析功能性轴突的数量^[4]。国内有研究显示,运动 NCS 对诊断肘管综合征阳性率远高于感觉 NCS^[5]。李贵阳等^[6]认为, MNCV 对诊断肘管综合征最为敏感,对患者的治疗方案的选择具有重要的指导意义。美国神经病学和电生理诊断医学协会发表的肘管综合征诊断标准^[7]包括:肘关节屈曲 70~90°时,①跨肘段的神经传导速度小于 50 m/s;②与腕至肘以下段相比,跨肘段减慢超过 10 m/s;③如果肘部以下和肘部以上部位之间的 CMAP 振幅和面积下降大于 20%,则怀疑发生肘管综合征的可能。

虽然运动 NCS 在诊断方面具备显著的优势,但是感觉 NCS 也具备其独有的价值。由于为手部提供感觉的尺神经手背支位置比较表浅,更容易受到损害,所以感觉神经对压迫的反应比运动神经更为敏感,能够较早地察觉到病变。其诊断标准为 SNAP 波幅 < 10 μ V 或波幅较健侧下降 > 50% 为阳性;腕至肘的 SANP 消失为阳性。于昕等^[8]的研究显示,早期患者可通过跨肘段 MNCV 较健侧减慢 33% 和 SNCV 异常来确诊。所以,临床上多采用运动 NCS 与感觉 NCS 联合应用进行诊断。

2.3 EMG

EMG 是将针电极插入小指展肌、第一骨间肌、尺侧腕屈肌,通过记录尺神经支配的这些肌肉静息时的自发电位,运动单位电位的波幅、时限和大力收缩时的募集相,来检测神经损伤。EMG 在诊断患者的病情严重程度、确定神经损伤部位以及提高早期肘管综合征的诊断率方面发挥了重大作用,而且具有与尺管综合征、肘管综合征等鉴别诊断的功能。对于轻度的仅存在神经感觉纤维受

累的患者,针极EMG无阳性表现。随着病情进展,中、重度患者急性期EMG出现异常自发电位,如纤颤电位、正锐波或者运动单位电位时限延长及波幅增高等神经源性损害的表现。李贵阳等^[6]认为,EMG具备诊断神经损伤类型的作用,能够明确神经损害是以轴突损伤为主,还是以脱髓鞘为主,或两者同时存在。EMG对轴突损伤最敏感,仅存在轴突损害的患者,神经传导速度不会存在明显异常,仅有SNAP幅度降低和EMG异常。焦玉蓉^[9]研究发现,当尺神经发生沃勒变性导致轴索损害时,刺激任意部位都会出现较低的CMAP,而传导速度可以正常或轻度减慢,此时需要结合EMG来确认其受损部位,如果此时前臂尺神经支配的肌肉EMG显示异常,可诊断为肘管综合征,同时还可作为肘管综合征的鉴别诊断提供依据。

2.4 短段微移传导时间

短段微移传导时间(short-segment incremental conduction time, SSCT)以肱骨内上髁处为肘点沿尺神经走行,从肘上5 cm处至肘下5 cm处,每间隔1 cm记录1个刺激点,给予电刺激得出两点间动作电位的潜伏期和波幅变化来确定卡压部位和严重程度。当相邻刺激点的神经传导时间增加2 ms以上,或者相邻之间的振幅减少20%,则可以确定为尺神经卡压。传统的NCS研究认为,肘上至肘下10 cm被认为是最佳距离,后来宋欢欢等^[10]发现,对于早期仅有局部神经传导减慢的患者,10 cm的跨度会造成减慢的MNCV被稀释,使得测量结果呈现假阴性从而漏诊,而SSCT则可以提高诊断的准确性。Liu等^[11]通过研究发现,SSCT可以比传统NCS更敏感,不仅可以对早期肘管综合征患者做出诊断,也可以确定尺神经卡压的具体部位。不论是高度怀疑肘管综合征的患者或者是已经诊断为肘管综合征的患者都应进行SSCT检测,来给患者的治疗方案提供更加详细的信息^[12]。同时,杨淳彭等^[13]研究也发现,单处卡压的患者可以利用SSCT精确定位卡压部位进行手术,多处卡压的患者则可以指导手术者仔细查探,并彻底清除所有病变部位。但是,SSCT还是有一定的局限性,贾志荣等^[14]认为,SSCT操作过程较为复杂,且涉及多部位电刺激,尤其是刺激强度较高,可能会引发患者不适感,造成检测结果的误差。

2.5 前臂尺神经干动作电位

前臂尺神经干动作电位(ulnar nerve trunk action potential, UNTAP)刺激腕横纹处的尺神经,记录电极置于尺神经沟处,从而引发UNTAP,记录其潜伏期及波幅,并与健侧肢体对照。诊断标准为UNTAP消失或波幅较健侧降低至50%以下为异常。研究发现,UNTAP诊断肘管综合征的敏感性远高于常规电生理检查,这是因为在慢性尺神经卡压时,由于肘管综合征感觉纤维束位置比较表浅,更容易受到损害,所以卡压部位近端前臂段的UNTAP损伤往往出现得最早、程度最严重^[15]。感觉神经

传导虽然可用来早期诊断,但其特异性并不高,且SNAP波形较小,有时在症状较轻或无症状的早期患者中容易检测不到。因此,针对早期症状较轻的肘管综合征患者,UNTAP波幅变化可能为唯一诊断指标。但目前UNTAP检查在临床上应用较少,对双侧尺神经卡压的患者,UNTAP可能会造成假阴性。因此,对传统电生理检查为阴性,却高度怀疑为单侧肘管综合征患者,可进行UNTAP和SSCT的联合应用,以提高诊断率^[16]。

3 电生理在术中监测的应用

对于肘管综合征患者,保守治疗可为首选,但如果治疗6~8周后仍无效或者病情加重,就需要进行手术治疗,最常见的手术方案包括单纯神经减压、尺神经前置术、单纯尺神经松解术等。神经电生理检测可用于患者手术监测,术前可以通过CMAP波幅的降低程度来判断患者预后,波幅越低,预后越差^[17]。熊兵等^[18]认为,术中电生理监测可以提供实时的神经功能评估,通过量化指标辅助医生识别,并确定尺神经真正卡压或变性部位,同时避免对周围组织不必要的损害;术中电生理监测还能帮助区分神经纤维,降低术中误伤风险,减少术后并发症;电刺激神经可以促进神经再生,改善患者的预后。杨淳彭等^[13]研究发现,神经电生理监测可以实时关注尺神经功能变化,并指导切除所有卡压组织。然而,这种监测技术因存在操作复杂性,从而可能增加手术时间和成本。

4 神经电生理检查在肘管综合征评估中的局限性

神经电生理检查在评估诊断肘管综合征的高效性已经被多项研究证实。虽然NCS和EMG在诊断肘管综合征中的作用显著,但在实践中仍存在一定的局限性,例如神经传导速度的减慢虽然能够指示压迫性病变,但某些患者的症状可能并不与电生理异常完全一致^[19]。此外,病程不同阶段的肘管综合征患者,其电生理表现差异较大,增加了诊断的复杂性。因此,如何定义统一的诊断标准并优化诊断流程仍是当前的挑战之一^[20]。同时,传统的电生理检查具有较高的特异性,但在敏感性方面存在一定不足。Yoon等^[21]认为,尺神经会随着肘部弯曲而移动等原因,会导致电生理监测敏感性下降,造成误诊。外界温度的变化,也会影响电生理检查的准确性,外界温度通过影响离子通道功能及乙酰胆碱酯酶的活性来影响神经传导速度,导致结果的差异^[22]。EMG对神经轴突损害最敏感,但这通常发生在病情严重阶段,因此,在早期或轻度的肘管综合征诊断中的敏感性有限,若没有明显的病理特征,可能会造成漏诊^[23]。而且,虽然电生理检测是肘管综合征诊断的金标准,但是不能提供可能的病因。同时,张丽华等^[24]认为,传统的神经电生理检查尚不能对神经损伤的部位进行精确定位,也不能直观观察到神经和周围组织的形态变化。安装心脏起搏器也是神经电生理检查的绝对禁忌证,这类患者无法进行电生理检查。

最后,神经电生理检查作为有创检查,在患者肌肉中放置针电极,这会造成患者身体的不适,且其高昂的价格也使得人们将目光转向高频超声和神经磁共振成像。

5 高频超声与电生理的互补性

高频超声检查是通过检测肘部软组织的结构和形态,特别是肘部尺神经的形态回声及与周围软组织的关系,进而测量尺神经的肿胀率。Sheen等^[25]研究发现,肘管综合征患者病变程度越严重,肘管处的尺神经横截面积越大,两者呈正相关。高频超声检查诊断肘管综合征的标准:①尺神经的横截面积增大,且肿胀率>20%;②尺神经的形态改变;③尺神经与周围组织粘连或受压。与高频超声检查相比,神经电生理检查无法提供神经及周围组织的解剖信息,不能直接观察到尺神经的情况以及卡压原因,而且极易受到个体差异影响,而高频超声检查就能很好地弥补这些缺点^[19]。肘管综合征患者因为肘部尺神经受压,远端神经发生肿胀,表现为尺神经形态改变、尺神经正常蜂窝结构丧失、低回声、卡压部位增厚。Carroll等^[26]研究发现,高频超声检查可以直观观察到神经的形态改变和神经受压迫的病因。而且相比于神经电生理检查,高频超声检查操作时间短,并且是非侵入性操作,能减少患者的不适。但是面对尺神经肿胀不明显的患者,单独利用超声诊断存在特异性不足的缺点,可能会导致误诊。因此,电生理检查与影像学联合应用可以提供更全面的诊断信息^[27],互相弥补各自的不足,从而能显著提高肘管综合征的诊断敏感性和准确性。目前,剪切波弹性成像技术(shear wave elastography, SWE)开始逐渐成为新的研究方向。Paluch等^[28]研究认为,利用SWE可以观察到尺神经动态和静态时的神经弹性和受压程度,有望成为临床上诊断肘管综合征的工具。国内也有研究表明,SWE与肘管综合征患者的神经电生理指标存在明显的正相关^[29]。但党文珠等^[30]认为,SWE虽然能较为准确地诊断周围神经的卡压性病变,但目前还存在国内尚无统一的测量标准等问题。

6 神经磁共振成像的辅助价值

随着技术的发展,神经磁共振成像也逐步成为诊断肘管综合征的常用方法。磁共振成像可以获得高分辨率的周围软组织图像,直观观察到尺神经及其支配的肌肉的信号改变,尤其在评估肘部复杂的解剖结构时具有重要作用^[31]。在肘管综合征患者中,病变尺神经的T2WI信号增强,可发现尺神经脱位和其支配的肌肉水肿样改变。弥散加权成像对早期MCV正常但尺神经损害的肘管综合征患者具有较高的敏感性,因此具有较高的诊断价值^[32]。目前,弥散加权成像的进阶版技术(弥散张量成

像)也逐渐被用来评估周围神经,弥散张量成像利用各向异性分数图检测尺神经受损的敏感性远远高于T2WI^[33]。但是,Vucic等^[34]研究表明,磁共振成像的结果无法确定尺神经卡压的严重程度,且难以判断其预后。因此,在临床上,磁共振成像与电生理检查结合使用,能够为难以诊断的肘管综合征病例提供更加可靠的依据,通过这种联合检查,临床医生能够更准确地评估神经损伤的程度,并为手术治疗提供可靠的依据。近年来,神经电生理检查与影像学技术的结合成为肘管综合征诊断的新趋势。

7 小结

综上所述,肘管综合征又称为迟发性尺神经麻痹^[35]。以尺神经支配区域感觉异常和运动功能障碍为主要表现,病情严重时导致患者残疾。因此,早期诊断并确定治疗方案对于患者的预后具有重要意义。肘管综合征诊断主要依赖临床表现和辅助检查,其中神经电生理检查在肘管综合征的诊断评估中存在较高的定性及定位价值,是早期诊断的金标准。随着电生理技术和影像学的发展,以及高频超声检查、磁共振成像和神经电生理检查联合应用,可显著提高肘管综合征的诊断准确性与治疗决策价值。未来,基于多模式结合的诊断技术,电生理检查在肘管综合征中的应用前景广阔。然而,临床实践中仍需注意多种诊断手段的综合应用,以提高整体诊断效能,并针对个体患者进行精确评估来进行治疗方案的探讨。

各种检测方法的优点和缺点总结见表1。

表1 各种检测方法的优点和缺点

检查方法	优点	缺点
NCS	诊断的金标准;客观、可量化损伤严重程度;不以定位卡压段	有创性检查,患者有疼痛或不适感;在疾病早期或轻微卡压时不敏感;无法显示神经形态学信息
EMG	评估神经损伤的严重程度;鉴别诊断;	有创性检查,疼痛感强;. 仅能提度和急性;示肌肉失神经支配,但不能直接判断神经损伤性质
SSCT	极其精确地定位卡压部位;对早期、局部卡压敏感	操作技术要求极高;耗时久;非普及性
UNTAP	可选择性评估纯感觉神经纤维的功能;仅有感觉症状的早期患者更敏感	临床应用不广泛;电位波幅低,易受干扰;特异性低
高频超声	可直接、实时显示尺神经的形态、回声、肿胀情况;无创、快速	诊断准确性高度依赖于超声医师的经验和技术;无法评估尺神经功能;尺神经不肿胀的患者误诊率高
神经磁共振成像	高分辨率显示神经及周围软组织的细微结构	成本高昂;检查时间长;不能直接评估尺神经功能;无法判断预后

参 考 文 献

- [1] PODNAR S. Patterns and parameters describing nerve thickening in compression and entrapment ulnar neuropathies at the elbow[J]. *Clin Neurophysiol*, 2021, 132(2): 530-535.
- [2] WOLNY T, FERNÁNDEZ-DE-LAS-PEÑAS C, GRANEK A, et al. Changes in ultrasound measurements of the ulnar nerve at different elbow joint positions in patients with cubital tunnel syndrome[J]. *Sensors (Basel)*, 2022, 22(21): 8354.
- [3] KINCAID JC. AAEE minimonograph #31: the electrodiagnosis of ulnar neuropathy at the elbow[J]. *Muscle Nerve*, 1988, 11(10): 1005-1015.
- [4] POWER HA, PETERS BR, PATTERSON JMM, et al. Classifying the severity of cubital tunnel syndrome: a preoperative grading system incorporating electrodiagnostic parameters[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2022, 150(1): 115e-126e.
- [5] 洗珊,邱嘉茗,张勋. 肘管综合征的肌电图检测与分析[J]. *现代电生理学杂志*, 2015, 22(1): 19-20.
- [6] 李贵阳,张立霞. 肘管综合征患者神经电生理特点[J]. *现代电生理学杂志*, 2022, 29(1): 12-15.
- [7] American Association of Electrodiagnostic Medicine, American Academy of Neurology, American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation. Practice parameter for electrodiagnostic studies in ulnar neuropathy at the elbow: summary statement[J]. *Muscle Nerve*, 1999, 22(3): 408-411.
- [8] 于昕,彭亮亮,柯开富,等. 神经电生理检查对肘管综合征患者早期诊断意义[J]. *交通医学*, 2010, 24(4): 335-336.
- [9] 焦玉蓉. 神经肌电图检查对肘管综合征与腕尺管综合征鉴别诊断的价值[J]. *影像研究与医学应用*, 2019, 3(23): 180-181.
- [10] 宋欢欢,洪钱. 不同电生理检测方法在诊断肘管综合征中的应用价值[J]. *国际医药卫生导报*, 2024, 30(2): 297-300.
- [11] LIU Z, JIA ZR, WANG TT, et al. Preliminary study on the lesion location and prognosis of cubital tunnel syndrome by motor nerve conduction studies[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2015, 128(9): 1165-1170.
- [12] 王强,张庆梅,苏俊红,等. 前臂尺神经干动作电位与短段传导时间测定诊断肘管综合征的价值研究[J]. *中国全科医学*, 2017, 20(23): 2915-2918.
- [13] 杨淳彭,王沛,赵虬,等. 电生理定位结合术中神经监测在肘管综合征治疗中的应用[J]. *中华实验外科杂志*, 2009, 26(10): 1371-1372.
- [14] 贾志荣,柳竹,王亭亭,等. 短节段神经传导检测法在肘管综合征中的应用价值[J]. *中华神经科杂志*, 2014, 47(6): 403-407.
- [15] 田东,张凯丽,顾雁浩. 前臂尺神经干动作电位在轻度肘管综合征诊断中的应用[J]. *中华手外科杂志*, 2007, 23(6): 352-354.
- [16] 李婷,马立旭,余敏. 肘管综合征早期诊断的神经肌电图指标分析[J]. *现代电生理学杂志*, 2025, 32(2): 106-108.
- [17] CUNEO KR, MCQUILLAN TJ, SULLIVAN CM, et al. Electrodiagnostic testing predicts postdecompression outcomes in patients with cubital tunnel syndrome[J]. *J Hand Surg Glob Online*, 2024, 6(6): 779-783.
- [18] 熊兵,李晓裔,邵西仓,等. 神经电生理检查在肘管综合征手术治疗及判断预后中的价值[J]. *立体定向和功能性神经外科杂志*, 2018, 31(6): 337-340.
- [19] YU M, DING WQ, SHAO GQ, et al. Ultrasound-based multi-planar bilateral comparisons as a diagnostic and treatment-definition method for unilateral peripheral nerve entrapment[J]. *J Ultrasound Med*, 2024, 43(10): 1883-1901.
- [20] COLLINS DW, REHAK D, DAWES A, et al. Cubital tunnel syndrome: does a consensus exist for diagnosis?[J]. *J Hand Surg Am*, 2025, 50(2): 230.e1-230.e7.
- [21] YOON JS, WALKER FO, CARTWRIGHT MS. Ulnar neuropathy with normal electrodiagnosis and abnormal nerve ultrasound[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2010, 91(2): 318-320.
- [22] RUTKOVE SB. Effects of temperature on neuromuscular electrophysiology[J]. *Muscle Nerve*, 2001, 24(7): 867-882.
- [23] LEE TY, DY CJ, RAY WZ, et al. Gray-Scale and power doppler ultrasound findings predictive of cubital tunnel syndrome severity[J]. *Hand (N Y)*, 2024, 19(3): 392-399.
- [24] 张丽华,曹亚坤,杜超,等. 高频超声诊断上肢常见卡压性周围神经病的临床研究[J]. *河北医科大学学报*, 2019, 40(12): 1447-1449.
- [25] SHEEN S, SPEACH D, JONES CMC, et al. Association of ultrasound and electrodiagnostic studies in patients evaluated for ulnar neuropathy[J]. *J Hand Surg Am*, 2025, 50(3): 259-264.
- [26] CARROLL TJ, CHIROKIKH A, THON J, et al. Diagnosis of ulnar neuropathy at the elbow using ultrasound: a comparison to electrophysiologic studies[J]. *J Hand Surg Am*, 2023, 48(12): 1229-1235.
- [27] MATSUI Y, HORIE T, FUNAKOSHI T, et al. Dynamic evaluation of intraneural microvascularity of the ulnar nerve using contrast-enhanced ultrasonography in patients with cubital tunnel syndrome[J]. *J Hand Surg Am*, 2022, 47(7): 687.e1-687.e8.
- [28] PALUCH Ł, NOSZCZYK B, NITEK Ż, et al. Shear-wave elastography: a new potential method to diagnose ulnar neuropathy at the elbow[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(12): 4932-4939.
- [29] 艾丽菲娅·吉力力,李文娟,缪旭,等. 高频超声和SWE定量参数与肘管综合征患者尺神经电生理相关性及其诊断价值[J]. *中华全科医学*, 2024, 22(5): 836-839.
- [30] 党文珠,董明辉. 剪切波弹性成像在周围神经病变中的应用进展[J]. *医学影像学杂志*, 2022, 32(1): 164-166.
- [31] LEE JH, GONG HS. Volumetric assessment of ulnar nerves in

- cubital tunnel syndrome with 3D modeling of the MRI and its relationship with electrodiagnostic findings[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2024, 92: 244-251.
- [32] ALTUN Y, AYGUN MS, CEVIK MU, et al. Relation between electrophysiological findings and diffusion weighted magnetic resonance imaging in ulnar neuropathy at the elbow[J]. *J Neuroradiol*, 2013, 40(4): 260-266.
- [33] KIMURA M, NAGATA S, SUZUKI M, et al. The relationship between diffusion tensor imaging and the clinical classification of cubital tunnel syndrome[J]. *Radiol Phys Technol*, 2024, 17(3): 645-650.
- [34] VUCIC S, CORDATO DJ, YIANNIKAS C, et al. Utility of magnetic resonance imaging in diagnosing ulnar neuropathy at the elbow[J]. *Clin Neurophysiol*, 2006, 117(3): 590-595.
- [35] BAUKNIGHT J, SHAH HA, FOUAD C, et al. Assessment of ulnar nerve tension directed towards understanding cubital tunnel syndrome[J]. *J Hand Microsurg*, 2024, 16(4): 100068.

责任编辑:龚学民