

肌骨超声技术在脑卒中后痉挛评估中的应用研究进展

侯牧韶¹ 崔晓格² 刘子渤¹ 李红玲¹

¹河北医科大学第二医院, 石家庄 050000; ²石家庄市栾城人民医院, 石家庄 051430

通信作者: 李红玲, Email: 1413585368@qq.com

【摘要】 脑卒中后痉挛是脑卒中后常见的并发症之一, 主要表现为疼痛、肌肉萎缩、关节挛缩、异常的姿势和运动模式等。研究发现, 肌骨超声 (MSUS) 可以揭示痉挛性肌肉结构的形态学变化, 量化肌肉痉挛程度。本文就 MSUS 在脑卒中后痉挛评估中的常用参数、应用现状和影响因素等进行综述, 以期为临床上脑卒中后痉挛的评估提供更为客观、精确的方法。

【关键词】 肌骨超声; 脑卒中; 痉挛

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2024.05.016

脑卒中后痉挛 (post-stroke spasticity, PSS) 是脑卒中后常见的运动功能障碍之一, 是指一种以速度依赖性的紧张性牵张反射增强为特征的运动障碍, 是上运动神经元综合征的一种表现。一项 meta 研究显示, PSS 的发病率为 25.3%^[1]。PSS 可导致患者出现疼痛、肌肉萎缩、关节挛缩、异常的姿势和运动模式等并发症, 影响患者的日常生活活动能力, 显著限制患者的康复潜力^[2]。客观合理的评估方法是针对性治疗、监测脑卒中患者功能恢复的重要手段^[3]。因此, 早期、客观地评估痉挛的存在及其严重程度, 并给予积极针对性的治疗, 对脑卒中患者的功能康复至关重要。

目前, 临床上评估 PSS 的方法主要包括改良的 Ashworth 量表 (modified Ashworth scales, MAS)、改良的 Tardieu 量表 (modified Tardieu scale, MTS) 和表面肌电图等。MAS 和 MTS 是临床常用的评估量表, 易于评估且不需要额外的设备和技术原理, 因此临床实践使用最为广泛, 但这些量表大多基于主观评估^[4], 易受到评估者的经验、主观个体差异等因素的影响, 无法准确地量化肌肉张力的变化^[2]。有研究认为, 由于 MAS 和 MTS 的信度和效度相对较低, 将其用于痉挛性评估的效果并不理想^[5]。表面肌电图由于传感器放置的复杂性, 导致其实用性和可用性较低, 且易受到相邻肌肉的影响, 从而限制其在临床评估中的应用^[6]。

肌骨超声 (musculoskeletal ultrasound, MSUS) 是一种便携式, 且成本低廉的肌肉骨骼成像技术, 可以无创的方式评估肌肉的结构和形态特征^[7], 使人类骨骼肌的可视化成为可能^[8]。MSUS 由于其诸多优点 (方便、廉价、无创、可重复、提供动态成像且无需任何辐射照射等)^[9], 在康复评估、康复训练计划及临床物理治疗中的使用越来越普遍, 现已成为康复医师、治疗师临床实践中的宝贵工具^[10]。本文旨在对近几年国内外肌骨超声技术在评估 PSS 中的应用现状进行综述, 以便为临床提供更为客观准确的评估方法, 以期更好地指导 MSUS 在康复领域的应用。

MSUS 的发展历史

1912 年泰坦尼克号沉没后, 超声波首先被用于航海目的探测冰山, 后用于识别潜艇^[9]。1942 年, 超声首次作为一种医学

诊断工具用于诊断脑肿瘤^[11]。20 世纪 50 年代末和 60 年代初, 超声在产科、妇科、肿瘤学和心脏病等领域得到广泛应用^[12]。

1958 年, Dussik 等^[13]首次应用 MSUS 测量关节和关节周围组织 (如肌肉、肌腱、软骨和骨骼等) 的声学衰减情况, 并描述了不同关节损伤和疾病对超声衰减的影响, 从而奠定了 MSUS 在肌肉骨骼系统方面应用的基础。1972 年, McDonald 和 Leopold^[14]首次报道, MSUS 可区分贝克囊肿和血栓性静脉炎。20 世纪 80 年代, 随着实时解剖成像的发展, MSUS 逐渐用于全面评估肌肉骨骼系统。近 20 年来, 随着成像分辨率技术的提高, 和高速的数字处理、传感器成本的不断下降, 将 MSUS 纳入临床评估的潜力也愈来愈大^[15]。由于 MSUS 具有精确显示软组织和骨标志的独特能力, 且可提供动态成像和比较, 目前在物理医学和康复医学的诊断与治疗干预中, MSUS 发挥着至关重要的作用^[16]。

MSUS 的常用技术参数

一、肌肉厚度

肌肉厚度 (muscle thickness, MT)^[17] 即肌肉表层筋膜和深筋膜之间的距离, 可反映为垂直肌束膜方向的肌纤维的力矩, 体现肌肉的硬度^[18]。研究发现, 被动牵张肌纤维时, MT 会随着牵张力的变化而改变, 由于力矩和肌肉张力相关, 故可以将 MT 作为评估肌肉张力的肌肉结构参数之一^[19]。还有研究表明, PSS 的发生机制可能与肌肉结构改变有关, PSS 可使肌肉横桥 (cross-bridge) 附着状态发生改变, 减少肌动蛋白连接的横桥数目, 导致肌肉硬度增加, 肌肉上、下界面的距离 (MT) 减小^[20-21]。刘卫勇等^[22]的研究指出, 肌骨超声测量 MT 可以量化体现肌肉萎缩的程度。成逸等^[23]为探索 MT 值在治疗痉挛中的应用价值, 将治疗组 PSS 患者在超声下记录的下肢 MT 值作为 A 型肉毒毒素 (botulinum toxin-A, BTX-A) 注射剂量增减的参考依据, 对照组仅根据痉挛情况和医师经验来选择 BTX-A 的注射剂量, 结果显示, 依据 MT 值来增减注射剂量, 可显著提高最终疗效, 该结果表明, 通过评估 MT 值的变化, 可为 PSS 患者制定个性化的治疗方案提供量化依据。

二、肌束长度

肌束长度 (fascicle length, FL) 是指在纵切面上肌束至腱膜

之间的直线距离。在肌肉骨骼研究领域,MSUS 已成功用于研究静态和动态收缩期间肌束长度的变化^[24]。潘慧炬^[25]从肌肉的力学结构出发,采用数学物理方法,从理论上推导出,肌束长度的变化是表征肌肉张力最确切、且灵敏度较高的指标。施唯等^[26]的研究表明,FL 的变化规律可作为脑卒中患者抗痉挛治疗后的疗效观察指标,且敏感度高于 MAS 量表。夏雪等^[27]的研究分析了 PSS 患者的肌肉结构参数与 MAS 量表分级的相关性,结果发现,FL 对脑卒中所致痉挛的疗效评价具有一定的价值,可作为临床评估疗效的客观依据。

三、回声强度

回声强度(echo intensity, EI)指的是声像图中光点的亮度,由人体组织器官和肿块的内部结构界面、微细结构的反射形成。随着痉挛的发展,肌肉的结构也会发生一定的改变,如胶原蛋白的增加、肌肉纤维内细胞外基质的异常聚积、脂肪组织和纤维结缔组织的增加等^[28]。而在超声成像中^[29],EI 的增强与上述结构变化密切相关,能直观性反映肌肉痉挛及挛缩程度。Picelli 等^[30]的研究比较痉挛侧和非痉挛侧的肌肉后发现,痉挛侧肌肉的 EI 显著增强。夏雪等^[27]的研究也指出,肌肉结构参数和 EI 联合检测可显著提升评估效能和敏感性,对指导临床进一步完善治疗方案具有重要意义。

MSUS 的应用现状

一、评估痉挛肌肉结构变化

痉挛不仅会增加肢体运动阻力,还会使肌肉或结缔组织的物理特性发生改变^[31]。有学者在进行肌肉活组织检查时发现,痉挛性肌细胞的肌节比正常肌细胞短^[2],这与 Lee 等^[21]的研究结果一致。有研究发现,痉挛后肌肉的胶原蛋白会增加,从而导致肌肉硬度增加^[32]。另外,痉挛后肌肉成分的改变,如肌肉纤维、肌肉厚度的减少,以及肌肉周围结缔组织的增生,亦会增加肌肉硬度^[33]。上述结构的变化在超声上可表现为 FL、MT 的减小和 EI 的增高,均可通过超声来实时观察肌肉的痉挛程度,具有较好的康复评估价值。

近年来,MSUS 作为一种非侵入性和安全客观的方法已被用来评估 PSS 患者肌肉的特征性变化^[34]。当出现 PSS 时^[35-36],尽早准确评估并采取有效的治疗措施,对患者的整体康复具有重要意义。MSUS 不仅可以揭示痉挛性肌肉结构的形态学变化,并有助于评估肌筋膜的特性和检测肌肉硬度的改变^[17],而评估肌肉硬度对于选择和调整康复治疗计划以及评估康复治疗效果和预后非常重要^[37],且准确描述和量化痉挛肌肉的力学有助于我们更好的了解临床表现与导致痉挛肌肉的潜在病理生理机制之间的关系^[38]。有学者指出,MSUS 可作为定量指标来分析卒中后肌肉结构和功能的变化,并作为康复治疗前后的评估手段^[2]。另有一项 meta 分析表明^[39],MSUS 在评估 PSS 患者肌肉硬度变化方面显示出较高的可靠性和敏感性,并在监测康复治疗效果中具有临床实用性。

二、超声引导下药物注射

传统治疗 PSS 的方法一般有口服药物、物理治疗等^[40],但肌肉松弛药物药效一般短暂且轻微,物理治疗对于初期痉挛患者具有一定疗效,但对痉挛程度严重者效果甚微。BTX-A 是一种强有力的肌肉松弛剂,可以起到缓解肌肉痉挛、肌肉松弛麻痹的作用^[41]。临床上常通过徒手和电刺激来定位注射 BTX-A

进行治疗^[42]。虽然医务人员可根据解剖结构进行徒手定位注射点,但由于卒中后患肢肌肉萎缩导致结构改变,且深层肌肉不能通过体表定位,因此无法保证药物被准确地注射至靶肌肉内。电刺激定位下注射 BTX-A 也具有一定的局限性,俞晓杰等^[43]的研究指出,电刺激定位注射 BTX-A 无法准确地评估目标,或要避开的神经、血管结构。此外,电刺激还可能引起患者疼痛不适,需要患者非常配合,对儿童患者通常需进行镇静,从而增加操作的风险。

随着 MSUS 技术的不断发展,超声引导下注射药物治疗已应用于临床,超声介入能够在视觉控制下精准地将 BTX-A 作用于靶点^[44],优化了传统的盲探操作,可显著提高临床疗效。彭慧等^[45]的研究发现,采用超声引导下的 BTX-A 注射治疗 PSS 效果显著,可有效改善患者的痉挛状态、肌肉功能和日常生活活动能力。夏雪等^[46]的研究也发现,MSUS 引导不仅可提高肌肉注射 BTX-A 的准确性,还可更进一步地改善 PSS 患者上肢的痉挛状态和运动功能。多项研究均推荐,超声引导不仅可以准确、快速地定位靶肌,还具有无痛、无创,安全性较高等优点,值得临床推广应用^[47-48]。

三、评估康复疗效

治疗效果的评估是临床康复实践和研究领域中的一个关键因素^[49]。为了评估痉挛干预后的有效性,需结合生物力学特性对痉挛肌肉的结构进行更客观、准确的量化评估^[6]。应用 MSUS 评价康复运动训练疗效的研究逐渐成为热点,MSUS 被认为是评估康复疗效的有价值的工具,其对肌肉变化的敏感性可为监测疾病进展和评估康复治疗效果提供量化的依据^[50],可作为评估任何痉挛干预措施(如注射 BTX-A、运动疗法等)有效性的衡量标准^[51],对卒中后肢体痉挛康复干预机制方面的研究具有重要价值。通过 MSUS 可直观地量化肌肉的痉挛程度,监测疾病进展,评估卒中后康复治疗的效果,显著降低 MAS 量表的主观可变性^[49]。Cho 等^[52]也认为,MSUS 可作为脑卒中患者常规康复评估的一部分。樊留博等^[53]采用超声对股四头肌神经入肌点针刺法对脑梗死后痉挛性偏瘫患者的临床疗效进行了评估,结果发现,超声在评估痉挛性偏瘫肢体的痉挛程度、肌群间的协调性等方面具有一定优势,可准确评价其临床疗效。此外,夏雪等^[46]的研究也发现,定量超声可量化肌肉结构的变化,可用于骨骼肌变化的评估。

MSUS 的影响因素

MSUS 是一种应用高频探头来诊断肌肉骨骼系统疾病的检查方法^[9],其高频探头的方向可影响 MSUS 的测量结果,因此在评估过程中应考虑探头方向对结果的影响。另外,由于声波不能穿透骨组织,其视野有限,可能导致对整个关节解剖结构的评估不完整^[50]。因此,在测量时,超声探头应在整个结构范围内移动,以进行实质性扫描,避免出现疏忽错误;同时也应该在不同的扫描窗口上探索每个解剖区域,以便获得所有必要的、完整的信息,并对可能的诊断进行反复的确认。尽管 MSUS 可用作定量评估肌肉结构的可视化技术,但仍依赖于评估人员的操作水平,易被个人操作经验所影响,往往会出现一定的测量误差^[20]。为了得到更准确的测量数据,操作人员必须熟悉肌肉骨骼结构的基本特性。

结语

综上所述,MSUS 作为一种便携、无辐射、实时的非侵入性评估技术,在脑卒中后痉挛中的应用越来越广泛,不仅可以分析脑卒中后痉挛肌肉结构和功能的变化,还可直观地量化肌肉的痉挛程度,并作为康复治疗前、后的评估手段;且超声引导下的药物注射也取得了较好疗效,具有一定的临床实用性。在目前使用肌骨超声评估 PSS 的研究中,仍受到探头反向、患者体位、个人操作技术等多方面因素的影响,从而导致研究结果有所差异。本课题组认为,在未来的研究中,需要更多大规模、多中心、多模态的临床研究来确定标准化的超声检查方法,以便为 PSS 的评估和治疗提供更加精确的指导。

参考文献

- [1] Zeng H, Chen J, Guo Y, et al. Prevalence and risk factors for spasticity after stroke: a systematic review and meta-analysis [J]. *Front Neurol*, 2021, 11: 616097. DOI:10.3389/fneur.2020.616097.
- [2] Liu J, Pan H, Bao Y, et al. The value of real-time shear wave elastography before and after rehabilitation of upper limb spasm in stroke patients [J]. *Biomed Res Int*, 2020, 2020. DOI: 10.1155/2020/6472456.
- [3] Roots J, Trajano GS, Fontanarosa D. Ultrasound elastography in the assessment of post-stroke muscle stiffness: a systematic review [J]. *Insights Imaging*, 2022, 13(1): 67. DOI:10.1186/s13244-022-01191-x.
- [4] Thibaut A, Chatelle C, Ziegler E, et al. Spasticity after stroke: physiology, assessment and treatment [J]. *Brain Inj*, 2013, 27(10): 1093-1105. DOI:10.3109/02699052.2013.804202.
- [5] Fleuren JFM, Voerman GE, Erren-Wolters CV, et al. Stop using the Ashworth scale for the assessment of spasticity [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2010, 81(1): 46-52. DOI:10.1136/jnnp.2009.177071.
- [6] Biering-Sørensen F, Nielsen JB, Klinge K. Spasticity-assessment: a review [J]. *Spinal Cord*, 2006, 44(12): 708-722. DOI:10.1038/sj.sc.3101928.
- [7] Whittaker JL, Stokes M. Ultrasound imaging and muscle function [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2011, 41(8): 572-580. DOI:10.2519/jospt.2011.3682.
- [8] Pillen S, Verrips A, Van Alfen N, et al. Quantitative skeletal muscle ultrasound: diagnostic value in childhood neuromuscular disease [J]. *Neuromuscul Disord*, 2007, 17(7): 509-516. DOI:10.1016/j.nmd.2007.03.008.
- [9] Özçakar L, Tok F, De Muynck M, et al. Musculoskeletal ultrasonography in physical and rehabilitation medicine [J]. *J Rehabil Med*, 2012, 44(4). DOI:10.2340/16501977-0959.
- [10] Bockbrader MA, Thompson RD, Way DP, et al. Toward a consensus for musculoskeletal ultrasonography education in physical medicine and rehabilitation: a national poll of residency directors [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2019, 98(8): 715-724. DOI: 10.1097/PHM.0000000000001195.
- [11] Kane D, Grassi W, Sturrock R, et al. A brief history of musculoskeletal ultrasound: 'From bats and ships to babies and hips' [J]. *Rheumatology*, 2004, 43(7): 931-933. DOI: 10.1093/rheumatology/keh004.
- [12] Kane D, Balint PV, Sturrock R, et al. Musculoskeletal ultrasound—a state of the art review in rheumatology. Part 1: current controversies and issues in the development of musculoskeletal ultrasound in rheumatology [J]. *Rheumatology*, 2004, 43(7): 823-828. DOI:10.1093/rheumatology/keh214.
- [13] Dussik KT, Fritch DJ, Kyriazidou M, et al. Measurements of articular tissues with ultrasound [J]. *Am J Phys Med*, 1958, 37(3): 160-165.
- [14] McDonald DG, Leopold GR. Ultrasound B-scanning in the differentiation of Baker's cyst and thrombophlebitis [J]. *Br J Radiol*, 1972, 45(538): 729-732. DOI:10.1259/0007-1285-45-538-729.
- [15] Primack SJ. Past, present, and future considerations for musculoskeletal ultrasound [J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2016, 27(3): 749-752. DOI:10.1016/j.pmr.2016.04.009.
- [16] Özçakar L, Malas FÜ, Kara G, et al. Musculoskeletal sonography use in physiatry: a single-center one-year analysis [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2010, 89(5): 385-389. DOI: 10.1097/PHM.0b013e3181d89e63.
- [17] Kesikburun S, Yaşar E, Adıgüzel E, et al. Assessment of spasticity with sonoelastography following stroke: a feasibility study [J]. *PM R*, 2015, 7(12): 1254-1260. DOI:10.1016/j.pmrj.2015.05.019.
- [18] Chiaramonte R, Bonfiglio M, Castorina EG, et al. The primacy of ultrasound in the assessment of muscle architecture: precision, accuracy, reliability of ultrasonography [J]. *Rev Assoc Med Bras*, 2019, 65: 165-170. DOI:10.1590/1806-9282.65.2.165.
- [19] Kellis E, Galanis N, Kapetanios G, et al. Architectural differences between the hamstring muscles [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2012, 22(4): 520-526. DOI: 10.1016/j.jelekin.2012.03.012.
- [20] 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. DOI:10.1016/j.apmr.2008.06.022.
- [21] Lee SSM, Jakubowski KL, Spear SC, et al. Muscle material properties in passive and active stroke-impaired muscle [J]. *J Biomech*, 2019, 83: 197-204. DOI:10.1016/j.jbiomech.2018.11.043.
- [22] 刘卫勇, 陈亚青, 赵黎, 等. 小儿先天性马蹄内翻足小腿肌肉超声改变 [J]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2010, 7(6): 982-990.
- [23] 成逸, 王飞, 徐艳. 肌肉厚度值在超声引导下 A 型肉毒毒素注射治疗老年脑卒中患者下肢痉挛的应用 [J]. *全科医学临床与教育*, 2019, 17(6): 520-522. DOI: 10.13558/j.cnki.issn1672-3686.2019.06.012.
- [24] Raj IS, Bird SR, Shield AJ. Reliability of ultrasonographic measurement of the architecture of the vastus lateralis and gastrocnemius medialis muscles in older adults [J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2012, 32(1): 65-70. DOI: 10.1111/j.1475-097X.2011.01056.x.
- [25] 潘慧炬. 肌肉张力与肌肉长度变化关系新探 [J]. *浙江师大学报(自然科学版)*, 1997, (4): 90-93.
- [26] 施唯, 徐冰, 毕磊磊. 抗痉挛治疗前后脑卒中患者超声肌肉结构参数的对比 [J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2015, 18(21): 28-30. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5110.2015.21.018.
- [27] 夏雪, 蔡静, 马将, 等. 卒中致上肢痉挛患者超声肌肉结构参数、EI 变化及疗效评估价值 [J]. *河北医药*, 2022, 44(10): 1504-1507. DOI:10.3969/j.issn.1002-7386.2022.10.014.
- [28] Scherbakov N, Von Haehling S, Anker SD, et al. Stroke induced Sarcopenia: muscle wasting and disability after stroke [J]. *Int J Cardiol*, 2013, 170(2): 89-94. DOI:10.1016/j.ijcard.2013.10.031.

- [29] Fukumoto Y, Ikezoe T, Yamada Y, et al. Skeletal muscle quality assessed from echo intensity is associated with muscle strength of middle-aged and elderly persons[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112: 1519-1525. DOI:10.1007/s00421-011-2099-5.
- [30] Picelli A, Tamburin S, Cavazza S, et al. Relationship between ultrasonographic, electromyographic, and clinical parameters in adult stroke patients with spastic equinus: an observational study[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2014, 95(8): 1564-1570. DOI:10.1016/j.apmr.2014.04.011.
- [31] Fridén J, Lieber RL. Spastic muscle cells are shorter and stiffer than normal cells[J]. *Muscle Nerve*, 2003, 27(2): 157-164. DOI:10.1002/mus.10247.
- [32] Smith LR, Lee KS, Ward SR, et al. Hamstring contractures in children with spastic cerebral palsy result from a stiffer extracellular matrix and increased in vivo sarcomere length[J]. *J Physiol*, 2011, 589(10): 2625-2639. DOI:10.1113/jphysiol.2010.203364.
- [33] Botar-Jid C, Damian L, Dudea SM, et al. The contribution of ultrasonography and sonoelastography in assessment of myositis[J]. *Med Ultrason*, 2010, 12(2): 120-126.
- [34] Berenpas F, Martens AM, Weerdesteijn V, et al. Bilateral changes in muscle architecture of physically active people with chronic stroke: a quantitative muscle ultrasound study[J]. *Clin Neurophysiol*, 2017, 128(1): 115-122. DOI:10.1016/j.clinph.2016.10.096.
- [35] Coleman ER, Moudgal R, Lang K, et al. Early rehabilitation after stroke: a narrative review[J]. *Curr Atheroscler Rep*, 2017, 19: 1-12. DOI:10.1007/s11883-017-0686-6.
- [36] Bernhardt J, Godecke E, Johnson L, et al. Early rehabilitation after stroke[J]. *Curr Opin Neurol*, 2017, 30(1): 48-54. DOI:10.1097/WCO.0000000000000404.
- [37] Nakamura M, Ikezoe T, Kobayashi T, et al. Acute effects of static stretching on muscle hardness of the medial gastrocnemius muscle belly in humans: an ultrasonic shear-wave elastography study[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2014, 40(9): 1991-1997. DOI: 10.1016/j.ultras-medbio.2014.03.024.
- [38] Gao J, Chen J, O'Dell M, et al. Ultrasound strain imaging to assess the biceps brachii muscle in chronic poststroke spasticity[J]. *J Ultrasound Med*, 2018, 37(8): 2043-2052. DOI:10.1002/jum.14558.
- [39] Miller T, Ying M, Sau Lan Tsang C, et al. Reliability and validity of ultrasound elastography for evaluating muscle stiffness in neurological populations: a systematic review and meta-analysis[J]. *Phys Ther*, 2021, 101(1): pzaa188. DOI: 10.1093/ptj/pzaa188.
- [40] Chang EY, Ghosh N, Yanni D, et al. A review of spasticity treatments: pharmacological and interventional approaches[J]. *Crit Rev Phys Rehabil Med*, 2013, 25(1-2). DOI:10.1615/CritRevPhysRehabilMed.2013007945.
- [41] Walter U, Dudesek A, Fietzek UM. A simplified ultrasonography-guided approach for neurotoxin injection into the obliquus capitis inferior muscle in spasmodic torticollis[J]. *J Neural Transm*, 2018, 125(7): 1037-1042. DOI:10.1007/s00702-018-1866-4.
- [42] 郑志宏, 邓小蕾, 黄亿彩. 电刺激定位下注射 A 型肉毒毒素联合物理治疗脑性瘫痪患儿踝趾屈肌群痉挛的临床价值分析[J]. *解放军医药杂志*, 2020, 32(6): 46-50. DOI: 10.3969/j.issn.2095-140X.2020.06.010.
- [43] 俞晓杰, 卢健, 王颖. 超声引导注射肉毒毒素的优势及应用进展[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2020, 17(2): 109-112. DOI: 10.13929/j.issn.1672-8475.2020.02.011.
- [44] Santamato A, Micello MF, Panza F, et al. Can botulinum toxin type A injection technique influence the clinical outcome of patients with post-stroke upper limb spasticity? A randomized controlled trial comparing manual needle placement and ultrasound-guided injection techniques[J]. *J Neurol Sci*, 2014, 347(1-2): 39-43. DOI:10.1016/j.jns.2014.09.016.
- [45] 彭慧, 杨柳, 周成. 超声引导下 A 型肉毒毒素注射治疗脑卒中后肌痉挛的临床疗效[J]. *当代医学*, 2022, 28(17): 91-95. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4393.2022.17.026.
- [46] 夏雪, 薛梅, 杨春燕, 等. 超声引导肌肉注射 A 型肉毒毒素治疗脑卒中后上肢痉挛[J]. *河北医科大学学报*, 2021, 42(10): 1194-1197. DOI:10.3969/j.issn.1007-3205.2021.10.016.
- [47] 盛鹏杰, 贾燕飞, 赵娜娜. 肌骨超声引导合谷刺配合电针治疗肩袖损伤的疗效观察[J]. *上海针灸杂志*, 2021, 40(1): 82-85. DOI:10.13460/j.issn.1005-0957.2020.13.1085.
- [48] Multani I, Manji J, Hastings-Ison T, et al. Botulinum toxin in the management of children with cerebral palsy[J]. *Pediatr Drugs*, 2019, 21(4): 261-281. DOI:10.1007/s40272-019-00344-8.
- [49] Posteraro F, Crea S, Mazzoleni S, et al. Technologically-advanced assessment of upper-limb spasticity: a pilot study[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2018, 54(4): 536-544. DOI: 10.23736/S1973-9087.17.04815-8.
- [50] Tok F, Demirkaya E, Özçakar L. Musculoskeletal ultrasound in pediatric rheumatology[J]. *Pediatr Rheumatol Online J*, 2011, 9: 1-6. DOI:10.1186/1546-0096-9-25.
- [51] Kenis-Coskun O, Giray E, Gencer-Atalay ZK, et al. Reliability of quantitative ultrasound measurement of flexor digitorum superficialis and profundus muscles in stroke[J]. *J Comp Eff Res*, 2020, 9(18): 1293-1300. DOI:10.2217/cer-2020-0105.
- [52] Cho KH, Lee HJ, Lee WH. Intra-and inter-rater reliabilities of measurement of ultrasound imaging for muscle thickness and pennation angle of tibialis anterior muscle in stroke patients[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2017, 24(5): 368-373. DOI: 10.1080/10749357.2017.1285745.
- [53] 樊留博, 刘宝华, 韩文胜. 超声弹性成像评价股四头肌神经入肌点针刺法治疗脑梗死肌痉挛的临床疗效[J]. *临床超声医学杂志*, 2019, 21(4): 263-266. DOI:10.16245/j.cnki.issn1008-6978.2019.04.009.

(修回日期:2024-04-12)

(本文编辑:阮仕衡)