

痉挛状态量化评定方法的进展

秦文婷 李放

痉挛状态常因损害功能而影响患者生活质量。狭义上的痉挛状态是指一种运动障碍,表现为速度依赖性牵张反射(stretch reflex, SR)亢进,伴腱反射亢进和(或)阵挛,是上运动神经元综合征(upper motor neuron syndrome, UMNS)的症状之一^[1]。据估,全世界有超过 1200 万的痉挛状态患者,其中相当一部分痉挛状态可导致主动/被动活动受损、疼痛、护理困难和外观受损,进而影响活动和参与,并需要进行抗痉挛治疗^[1]。要想针对性地对痉挛状态进行治疗和疗效评估,需要准确的痉挛状态量化评定。本综述从区分痉挛状态中的神经成分(neural components, NC)和非神经成分(non-neural components, NNC)的角度,介绍痉挛状态量化评定方法的新进展。

痉挛状态中的 NC 和 NNC

临床上常用被动牵伸的阻力,即肌肉的“张力”来评定痉挛状态^[2],该阻力包括 NC 和 NNC。NC 来自于 SR 活动和自发性收缩,反映 SR 程度^[1]及肌张力障碍;NNC 则是由肌肉和其他软组织内在的物理学特性导致^[3],包括弹性(elasticity, EC)、粘性(viscosity, VC)和惰性(inertia, IC)。肌肉长期处于痉挛状态,会造成触变性改变和挛缩,反映为 NNC。痉挛状态的治疗方法包括物理疗法、口服药物疗法、化学性去神经以及手术治疗等^[4],而 NNC 的治疗方法一般包括石膏、牵伸和矫形手术。证据表明,脑卒中后痉挛状态可通过肌肉注射肉毒毒素来降低肌张力、缓解痉挛状态^[5],而痉挛状态中 NC 的评定则可作为评估肉毒毒素治疗后的痉挛状态改变的敏感方法^[6]。区分肌肉过度活动中的 NC 和 NNC,对之进行准确的评价,是 UMNS 的诊疗难点。只有通过准确的评价才能采取有针对性治疗,并可靠而准确地反映疗效,进而筛选出合理的治疗方法。

临床常用痉挛状态评定量表及其局限性

改良 Ashworth 量表(modified Ashworth scale, MAS)和改良 Tardieu 量表(modified Tardieu scale, MTS)是目前临床常用的痉挛状态的评定量表。MAS 和 MTS 是以评定者的主观感受来评估被测关节对于牵张运动的反应,2 者均操作方便,但是不同评定者的主观性会导致结果不一。由于 MAS 只使用一种牵张速度,因而不能体现 Lance 关于“速度依赖性 SR 亢进”的痉挛状态定义^[1],它仅仅是一种肌张力量表,不能分辨出 NC。MAS 的效度也曾被质疑^[7-8]。MTS 通过两种不同的速度来区分 NC^[9],强调 SR 速度依赖性,比 MAS 更符合 Lance 定义。但是,MTS 在快速和慢速牵张活动下获得角度差(R1-R2, Y 值)的信度不一定充

分^[10]。三倍痉挛状态量表(triple spasticity scale, TSS)是新设计的合成型量表^[11],它的三个亚组分别是两种牵张速度下的阻力差、反应角度差,以及阵挛程度,量表对反应角度进行了分级转换,使整个量表成为了一个典型的分级量表。TSS 强调速度依赖性,符合 Lance 的定义,可简单区分 NC 和 NNC,但该量表设计较新,缺少更多的信度和效度研究。综合痉挛量表(composite spasticity scale, CSS)为较早设计的痉挛状态量表,它的评价内容包括牵张阻力和腱反射等,由于只使用一种牵张速度,不能反映速度依赖性,且腱反射只能在少数部位引出,故使用范围较小。

以上所提到的痉挛量表评定方法操作简易,但均难以准确量化肌张力大小^[12],也不能准确区分肌肉过度活动中的 NC 和 NNC。

痉挛状态的神经电生理评定方法

一、H-反射和 F-波

H-反射可反应下运动神经反射弧的兴奋性,这种神经传导的迟发反应是由电诱发的单突触反射。H-反射会优先激活 IA 类传入神经纤维,冲动沿感觉神经顺向传入脊髓,然后冲动会沿运动神经顺向传导到记录电极。除比目鱼肌外,H-反射还可在桡侧腕屈肌和股四头肌等处引出。F 波是发生在运动神经受刺激兴奋之后的一个小的迟发运动反应,波幅约为复合运动动作电位波幅的 1%~5%。F 波由短时程超大刺激产生,能够引发一个朝向脊髓前角细胞的逆向运动反应,然后对记录电极产生一个顺向运动反应。 α -运动神经元的兴奋性可通过测定 H-反射和 F-波进行评估,H-反射的评价指标有 H 最大波幅/M 最大波幅(Hmax/Mmax)^[13]、H 反射/M 波曲线回归线的斜率比值(Hslp/Mslp)等^[14],F 波的评价参数有 F 波波幅、出现率、F/M 比值、F 波时间离散度等^[15]。通过对这些迟发反应的记录,可获得痉挛状态中 NC 相关的定量信息。

王永慧等^[16]通过比较双侧 H-反射的变化以及患侧 H-反射和 CSS 评分的相关性,发现痉挛期脑卒中患者患侧 H-反射活跃,H/M 比值增高,且和 CSS 显著正相关,因此认为,H-反射、H/M 比值是脑卒中后痉挛性偏瘫患者下运动神经元兴奋性评估的较好的客观指标。何颖等^[17]观察了脑卒中患者上肢 H-反射的 Hmax/Mmax、Hslp/Mslp 和 H-阈值/M-阈值(Hth/Mth)等指标与痉挛状态的相关性,结果发现,患侧上肢 Hmax/Mmax 和 Hslp/Mslp 与 MAS 评分呈正相关,该课题组认为,Hmax/Mmax 和 Hslp/Mslp 可作为脑卒中上肢痉挛程度评价的电生理指标。Phadke 等^[18]认为,Hslp/Mslp 是评价痉挛状态的敏感指标。

H-反射和 F-波也存在诸多局限性。H-反射和 F-波均存在较大变异性,影响它波幅的因素有刺激间隔、刺激电极位置、刺激强度、被试者的姿势、记录电极位置和肌肉状态等^[19]。

二、表面肌电图

表面肌电图(surface electromyography, sEMG)可记录各种神

经肌肉反应^[20]。sEMG 除了可以判断是否诱发 SR 及反射强弱,还可记录肌张力障碍、共同收缩、联合反应、屈肌反射传入活动等 UMNS 的各种阳性征,但其数据受牵张速度影响,也受皮下脂肪分布、肌肉解剖、电极摆放位置、皮肤阻抗等其他因素影响。Sorinola 等^[21]使用一个腕关节装置,对被测肌肉和关节手动施加不同速度正弦方式的牵张活动,通过 sEMG 记录被测肌肉肌电信号,并以最大自主收缩力(maximal volitional contraction, MVC)对 sEMG 波幅进行标准化,结果发现,在慢速牵张时,标准化的肌电信号波幅与 MAS 评分量表呈现显著的相关性,但在快速牵张时并没有得到相同的结论。

生物力学评定方法及其应用

生物力学评定不同于临床量表和电生理检查,其主要是使用力学和数学模型来反映痉挛状态的不同方面。

一、SR 阻力概念及其应用

SR 阻力是指被动移动肢体或进行牵张活动时肢体产生的阻力,可用力或力矩来表示,此力或力矩由 NC 和 NNC 组成。SR 阻力的大小取决于神经反射的强度以及肌肉的长度和肌肉长度变化的速度。EC 为长度依赖性元素,随牵伸肌肉和肌腱的长度改变而随之变化,EC 包括牵张活动中段的线性弹性和终末段的非线性弹性。VC 是速度依赖性元素,VC 与软组织粘性成分有关,相关成分如肌纤维的摩擦力。VC 在牵伸开始的加速过程中达到最大值,而在随后的牵伸过程中保持低水平。IC 是一个额外的力,是指其他组织和肌肉相作用的附加力,是阻止肢体被动加速的阻力,由肢体的重力和加速度所决定。真实的 EC 测量只有在如下理论状态下才能成立:牵伸速度为 0 (假定阻力矩不受速度因素的影响),同时还要假定被测者在被牵伸时,不能有肌肉激活程度的变化。

采用等速装置等被动活动设备评价肌张力主要反映的是综合性的 SR 阻力,不能区分 NC 和 NNC。Linderberg 等^[22]提出了一种痉挛状态的生物力学测定模型 Neuro Flexo,用相关设备进行屈腕肌牵张活动,产生的总阻力包括 EC、VC、IC 和 NC,并分别以数学公式表示。此模型总体上显示出较好的信度和效度,但在轻微痉挛状态时效度较差^[23]。该模型还被运用于帕金森综合征患者腕关节强直中的 NC 和 NNC 的研究^[24-25],得到的结论是,NC 在帕金森综合征患者的肌强直中占主要部分。本课题组认为,目前的 Neuro Flexo 模型还不能外扩至各种不同关节和肌肉;另外,NC 属于阈值上测定,其大小受牵张速度影响。

二、钟摆实验

钟摆试验是从生物力学角度量化评定痉挛程度的方法,由 Wartenberg 首次提出^[26]。通过将患侧小腿悬挂于支撑点之外,进行小腿自由摆动后,测量小腿的摆动来反映股四头肌的痉挛状态。为记录摆动情况,曾不断有研发装置如电子测角仪^[27]、图像录影器^[28]、磁性传感设备和 Wii 传感器^[29]等问世,但这些工具并未被广泛应用于临床。

SR 阈值的概念及其应用

SR 阈值(stretch reflex threshold, SRT)是指运动神经元募集开始时,被牵张的关节所处的位置。如使用肌电图监测, SRT 可标记为当肢体用某个速度移动时首次出现肌电反应时关节

所处的角度。SR 阈值的测定依赖于实际的牵张速度,因此被称为动态性 SR 阈值(dynamic stretch reflex threshold, DSRT)^[30]。DSRT 的测定受牵张速度的影响,因此属于阈值上的评定。张力性 SR 阈值(tonic stretch reflex threshold, TSRT),被称为 λ ,源自 λ 模型或运动控制的平衡点假说,由 Levin 和 Feldman 在 1994 年第一次提出,是痉挛状态测定的另一种方式。 λ 模型认为,在稳定状态,肌肉和环境因素(力矩)是平衡的^[31]。力矩和肢体节段位置的结合达到稳定状态时,称之为系统的平衡点^[32]。平衡点假说将这种神经参数定义为关节位置阈值(λ),即支配跨关节肌肉的运动神经元开始募集时,关节所处的角度,它由中枢神经系统通过改变运动神经元的膜电位来调控。TSRT 的测定十分敏感,不受牵张速度的干扰,是一种真正意义上的痉挛状态阈值测定。实际测试 TSRT 时,可以根据多个 DSRT 和相应牵张速度两个变量,建立回归方程。

Levin 等^[33]在评定脑卒中后患者肘关节屈伸肌的痉挛状态时发现,TSRT 与 Fugl-Meyer 评分相关。还有研究发现^[34-35], TSRT 在评定脑瘫患儿痉挛状态方面有良好的重测信度或评定者间信度。Kim 等^[36]研发了一种基于 TSRT 的 K 均值聚类的评定系统,证实基于 TSRT 的标准化痉挛状态分级与 TSRT 水平有很强的负相关性($r=0.95$),TSRT 与 MAS 也有显著的相关性($\rho=-0.74$)。

结语

综上所述,目前对于痉挛状态的评定方法涉及临床量表、神经电生理和生物力学等方面,包含阈值测定和阈值上测定等方式,其意义、方法截然不同。TSRT 是十分敏感的痉挛状态测定方式,而 NC 是反映 SR 强度的指标,两者结合可对痉挛状态做出更全面的判断。综合评估 SR 的阈值层面和阈值上层,有助于理解痉挛状态和肌张力增高的病理生理机制,区分其中的 NC 和 NNC,有助于筛选出针对性的合理治疗方案。

参考文献

- [1] Lance JW. The control of muscle tone, reflexes, and movement; Robert wartenberg lecture[J]. Neurology, 1980, 30(12): 1303-1313.
- [2] Ward AB. A literature review of the pathophysiology and onset of post-stroke spasticity[J]. Eur J Neurol, 2012, 19(1): 21-27. DOI:10.1111/j.1468-1331.2011.03448.x.
- [3] Kesikburun S, Yasar E, Adiguzel E, et al. Assessment of spasticity with sonoelastography following stroke: a feasibility study[J]. PmR, 2015, 7(12): 1254-1260. DOI:10.1016/j.pmrj.2015.05.019.
- [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] Ward AB, Wissel J, Borg J, et al. Functional goal achievement in post-stroke spasticity patients: the BOTOX® Economic Spasticity Trial (BEST)[J]. J Rehabil Med, 2014, 46(6): 504-513. DOI:10.2340/16501977-1817.
- [6] Gaverth J, Eliasson AC, Kullander K, et al. Sensitivity of the neuroreflexor method to measure change in spasticity after treatment with botulinum toxin a in wrist and finger muscles[J]. J Rehabil Med, 2014, 46(7): 629-634. DOI:10.2340/16501977-1824.
- [7] Alibiglou L, Rymer WZ, Harvey RL, et al. The relation between Ashworth

- scores and neuromechanical measurements of spasticity following stroke [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2008, 5(18). DOI:10.1186/1743-0003-5-18.
- [8] Fleuren JF, 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.
 - [9] Gracies JM, Burke K, Clegg NJ, et al. Reliability of the Tardieu scale for assessing spasticity in children with cerebral palsy[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2010, 91(3): 421-428. DOI:10.1016/j.apmr.2009.11.017.
 - [10] Li F, Wu Y, Li X. Test-retest reliability and inter-rater reliability of the modified Tardieu scale and the modified Ashworth scale in hemiplegic patients with stroke[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2014, 50(1): 9-15.
 - [11] Li F, Wu Y, Xiong L. Reliability of a new scale for measurement of spasticity in stroke patients[J]. *J Rehabil Med*, 2014, 46(8): 746-753. DOI:10.2340/16501977-1851.
 - [12] Malhotra S, Cousins E, Ward A, et al. An investigation into the agreement between clinical, biomechanical and neurophysiological measures of spasticity[J]. *Clin Rehabil*, 2008, 22(12): 1105-1115. DOI:10.1177/0269215508095089.
 - [13] Leocani L, Nuara A, Houdayer E, et al. Sativex((r)) and clinical-neurophysiological measures of spasticity in progressive multiple sclerosis[J]. *J Neurol*, 2015, 262(11): 2520-2527. DOI: 10.1007/s00415-015-7878-1.
 - [14] Naghdi S, Ebrahimi I, Asgari A, et al. A preliminary study into the criterion validity of the modified modified Ashworth scale using the new measure of the alpha motoneuron excitability in spastic hemiplegia[J]. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 2007, 47(3): 187-192.
 - [15] Kagawa S, Koyama T, Hosomi M, et al. Effects of constraint-induced movement therapy on spasticity in patients with hemiparesis after stroke[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2013, 22(4): 364-370. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2011.09.021.
 - [16] 王永慧,王丽华,岳伟涛,等. 脑卒中患者双下肢 H 反射的变化及其与痉挛指数的相关性[J]. *中国康复医学杂志*, 2008, 23(2): 114-116. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2008.02.009.
 - [17] 何颖,邵西仓,李晓裔,等. 脑卒中偏瘫患者上肢 H 反射与痉挛的相关性研究[J]. *中国康复理论与实践*, 2013, 19(12): 1159-1162. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2013.12.017.
 - [18] Phadke CP, Robertson CT, Condliffe EG, et al. Upper-extremity H-reflex measurement post-stroke: reliability and inter-limb differences[J]. *Clin Neurophysiol*, 2012, 123(8): 1606-1615. DOI:10.1016/j.clinph.2011.12.012.
 - [19] Stowe AM, Hughes-Zahner L, Barnes VK, et al. A pilot study to measure upper extremity h-reflexes following neuromuscular electrical stimulation therapy after stroke[J]. *Neurosci Lett*, 2013, 535(1-6). DOI:10.1016/j.neulet.2012.11.063.
 - [20] Albani G, Cimolin V, Galli M, et al. Use of surface EMG for evaluation of upper limb spasticity during botulinum toxin therapy in stroke patients[J]. *Funct Neurol*, 2010, 25(2): 103-107.
 - [21] Sorinola IO, White CM, Rushton DN, et al. Electromyographic response to manual passive stretch of the hemiplegic wrist: accuracy, reliability, and correlation with clinical spasticity assessment and function[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2009, 23(3): 287-294. DOI: 10.1177/1545968308321778.
 - [22] Lindberg PG, Gaverth J, Islam M, et al. Validation of a new biomechanical model to measure muscle tone in spastic muscles[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2011, 25(7): 617-625. DOI: 10.1177/1545968311403494.
 - [23] Gaverth J, Sandgren M, Lindberg PG, et al. Test-retest and inter-rater reliability of a method to measure wrist and finger spasticity[J]. *J Rehabil Med*, 2013, 45(7): 630-636. DOI:10.2340/16501977-1160.
 - [24] Zetterberg H, Frykberg GE, Gaverth J, et al. Neural and nonneural contributions to wrist rigidity in parkinson's disease: an explorative study using the neuroflexor[J]. *Biomed Res Int*, 2015, 2015(276182). DOI:10.1155/2015/276182.
 - [25] Ratsep T, Asser T. The effect of subthalamic stimulation on viscoelastic stiffness of skeletal muscles in patients with parkinson's disease[J]. *Clin Biomech*, 2017, 44: 94-98. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2017.03.012.
 - [26] Syczewska M, Lebedowska MK, Pandyan AD. Quantifying repeatability of the wartenberg pendulum test parameters in children with spasticity[J]. *J Neurosci Methods*, 2009, 178(2): 340-344. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2008.12.031.
 - [27] Bui HT, Gagnon C, Audet O, et al. Measurement properties of a new wireless electrogoniometer for quantifying spasticity during the pendulum test in arsaes patients[J]. *J Neurol Sci*, 2017, 375: 181-185. DOI:10.1016/j.jns.2017.01.065.
 - [28] Larsen KL, Maanum G, Frosli KF, et al. Ambulant adults with spastic cerebral palsy: the validity of lower limb joint angle measurements from sagittal video recordings[J]. *Gait Posture*, 2012, 35(2): 186-191. DOI:10.1016/j.gaitpost.2011.09.004.
 - [29] Yeh CH, Hung CY, Wang YH, et al. Novel application of a wii remote to measure spasticity with the pendulum test: proof of concept[J]. *Gait Posture*, 2016, 43(70-75). DOI: 10.1016/j.gaitpost.2015.10.025.
 - [30] Calota A, Levin MF. Tonic stretch reflex threshold as a measure of spasticity: Implications for clinical practice[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2009, 16(3): 177-188. DOI:10.1310/tsr1603-177.
 - [31] Latash ML. Motor synergies and the equilibrium-point hypothesis[J]. *Motor Control*, 2010, 14(3): 294-322.
 - [32] Latash ML, Levin MF, Scholz JP, et al. Motor control theories and their applications[J]. *Medicina*, 2010, 46(6): 382-392.
 - [33] Levin MF, Feldman AG. The role of stretch reflex threshold regulation in normal and impaired motor control[J]. *Brain Research*, 1994, 657(1-2): 23-30. DOI:10.1016/0006-8993(94)90949-0.
 - [34] Blanchette AK, Mullick AA, Moin-Darbari K, et al. Tonic stretch reflex threshold as a measure of ankle plantar-flexor spasticity after stroke[J]. *Phys Ther*, 2016, 96(5): 687-695. DOI: 10.2522/ptj.20140243.
 - [35] Germanotta M, Taborri J, Rossi S, et al. Spasticity measurement based on tonic stretch reflex threshold in children with cerebral palsy using the pedianklebot[J]. *Front Hum Neurosci*, 2017, 11(277). DOI:10.3389/fnhum.2017.00277.
 - [36] Kim KS, Seo JH, Song CG. Portable measurement system for the objective evaluation of the spasticity of hemiplegic patients based on the tonic stretch reflex threshold[J]. *Med Eng Phys*, 2011, 33(1): 62-69. DOI:10.1016/j.medengphy.2010.09.002.

(修回日期:2017-07-18)

(本文编辑:阮仕衡)