- cortical plastic changes in wrist muscles by paired associative stimulation in the recovery phase of stroke patients[J]. *Neurorehabil Neural Repair*,2009, 23(4): 366—372.
- [22] 随燕芳,宋振华,童良前,等. 成对关联刺激对脑卒中患者上肢运动功能恢复的影响及其与运动皮质兴奋性改变之间的相关性分析[J]. *中华物理医学与康复杂志*,2013, 35(9): 703—707.
- [23] Jayaram G, Stinear JW. Contralesional paired associative stimulation increases paretic lower limb motor excitability post-stroke[J]. *Exp Brain Res*,2008, 185(4): 563—570.
- [24] Shin HI, Han TR, Paik NJ. Effect of Consecutive Application of Paired Associative Stimulation on Motor Recovery in a Rat Stroke Model: A Preliminary Study[J]. *Int J Neurosci*,2009, 118(6): 807—820.
- [25] Singh AM, Neva JL, Staines WR. Acute exercise enhances the response to paired associative stimulation induced plasticity in the primary motor cortex[J]. *Exp Brain Res*, 2014, 232:3675—3685.
- [26] Shors TJ, Matzel LD. Long-term potentiation: what's learning got to do with it? [J]. *Behav Brain Sci*, 1997, 20(4): 597—614, 614—655.
- [27] Bliss TV, Cooke SF. Long-term potentiation and long-term depression: a clinical perspective[J]. *Clinics*,2011, 66(S1):3—7.
- [28] Sorensen RT, Rasmussen RS, Overgaard K, et al. Dysphagia screening and intensified oral hygiene reduce pneumonia after stroke[J]. *Journal of Neuroscience Nursing*,2013, 45(3): 139—146.
- [29] Michou E, Mistry S, Jefferson S, et al. Targeting Unlesioned Pharyngeal Motor Cortex Improves Swallowing in Healthy Individuals and After Dysphagic Stroke[J]. *Gastroenterology*, 2012,142(1): 29—38.
- [30] Michou E, Mistry S, Jefferson S, et al. Characterizing the mechanisms of central and peripheral forms of neurostimulation in chronic dysphagic stroke patients[J].*Brain Stimul*,2014, 7(1):66—73.
- [31] Thulborn KR, Carpenter PA, Just MA. Plasticity of language-related brain function during recovery from stroke[J]. *Stroke*, 1999, 30(4): 749—754.
- [32] Weiller C, Ramsay SC, Wise RJ, et al. Individual patterns of functional reorganization in the human cerebral cortex after capsular infarction[J]. *Ann Neurol*, 1993, 33(2): 181—189.
- [33] Cramer SC, Moore CI, Finklestein SP, et al. A pilot study of somatotopic mapping after cortical infarct[J]. *Stroke*, 2000, 31(3): 668—671.
- [34] Singh S, Mistry S, Jefferson S, et al. A Magnetic Resonance Spectroscopy Study of Brain Glutamate in a Model of Plasticity in Human Pharyngeal Motor Cortex[J]. *Gastroenterology*, 2009, 136(2): 417—424.
- [35] Michou E, Williams S, Vidyasagar R, et al. fMRI and MRS measures of neuroplasticity in the pharyngeal motor cortex[J]. *NeuroImage*, 2015, 117: 1—10.

·综述·

脑卒中后上肢痉挛性瘫痪客观评定方法的研究进展*

黄馨云¹ 吴梦蝶¹ 姜淑云¹ 俞艳¹ 周艳丽¹ 李璟^{1,2}

脑卒中具有高发病率、高致残率的特点。大量研究表明上肢痉挛的发病率明显高于下肢,且其康复难度高于下肢^[1-4]。痉挛,是上运动神经元损伤后,牵张反射兴奋增加引起的以速度依赖性的紧张性牵张反射亢进,伴腱反射亢进为特征的运动障碍^[5]。痉挛是脑卒中的主要并发症之一,可造成患者肌肉短缩、姿势异常、疼痛和关节挛缩,导致运动模式异常,从而影响患者日常生活功能,并制约了患者偏瘫肢体的

的康复。

目前,对于上肢痉挛性瘫痪患者功能障碍评定大多是依靠主观量表评价,这种方法精确性及敏感性欠佳,且数据不易保存^[6]。随着近年神经电生理学、影像学、生物力学、康复工程技术的兴起,学者们开始致力于研究针对脑卒中后上肢痉挛程度及上肢运动功能的客观评价手段,以期在主观性量表评估临床痉挛程度未有明显变化时,更为及时、客观地

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.12.022

*基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)(2015CB554501)

1 上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院,上海,200437; 2 通讯作者

作者简介:黄馨云,女,硕士研究生; 收稿日期:2017-08-30

判定疗效及预后。同时,临床医务人员还可以通过神经电生理学及生物力学等客观评价工具了解患者具体的骨骼肌肉、神经系统损害程度、患肢的运动策略及运动模式,以针对患者不同的运动障碍机制进行个体化的精准治疗。

1 基于神经电生理学的评估方法

神经电生理检查,可以捕捉因中枢神经系统损伤后躯体神经系统及骨骼肌的一系列特征性改变。目前常用于评估脑卒中后上肢痉挛性瘫痪功能障碍的神经电生理检查包括:肌电图、表面肌电图及诱发电位检查等。其中,有关肌电图、表面肌电图对痉挛程度评定的研究相对成熟一些,并可为量化痉挛状态提供相关理论依据^[7]。近年来,利用表面肌电图评估脑卒中后肢体痉挛性瘫痪的研究较临床肌电图有所增加,这是因为较之临床肌电图其具有无创的优势^[8]。经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)及重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)是目前对脑卒中后大脑功能重组的主要研究手段之一,并且可直接用于脑卒中后上肢痉挛性瘫痪的康复治疗,成为了近年来用于评估上肢痉挛性瘫痪状态的研究新热点及趋势^[9]。

1.1 基于肌电图(electromyogram, EMG)及表面肌电图(surface electromyogram, sEMG)的评估方法

1.1.1 H反射:在中枢神经损伤后,H反射的变化反映了脊髓中枢的功能状态及皮质中枢对脊髓中枢的抑制作用。Burridge^[10]和 Voerman等^[11]学者认为H反射是检测痉挛症患者神经兴奋性增加和中枢抑制降低的有效工具。Hmax/Mmax比值(HMR)及HsIp/MsIp比值^[12],代表的是单突触反射募集运动神经元数目在运动神经元池中所占的比例,在上运动神经元病变中,其比值随时间推移而变异并具再现性。Phadke等^[13]在利用桡侧腕屈肌H反射评价偏瘫患者痉挛的实验中,发现HsIp/MsIp较HMR更为敏感,这可能与受H反射与逆行运动冲动对撞的抑制、运动神经元大小、肌肉收缩、神经轴索直径的影响比HMR小的多相关。Naghdi等^[14]研究也支持HsIp/MsIp比HMR敏感度更高:脑卒中患者患侧HsIp/MsIp与腕部改良Ashworth评分(modified ashworth scores, MAS)具有显著相关性,HMR与MAS评分虽呈负相关,但不具有显著性差异。何颖等^[15]在观察脑卒中患者双上肢正中神经H反射中发现:患侧上肢H反射高于健侧,患侧HMR、HsIp/MsIp与MAS均有显著相关性,且后者与MAS的相关性比前者更高。李红玲等^[16]研究发现,脑卒中患者患侧尺神经HMR比值与MAS评分存在秩相关关系,提示上肢尺神经可作为H反射检测常规部位。

1.1.2 均方根值(root mean square value, RMS)和积分肌电(integrated EMG, iEMG):均方根值(RMS值)是肌电信

号时域分析中最可靠的参数,可作为评估肌力、肌张力的参数,其值越大可代表其肌肉力量及张力越大^[17]。Ohn SH等^[18]记录了12例脑卒中后遗症期患者在完成患手抓取动作及患肢肩关节屈曲时的斜方肌上部(upper trapezius, UT)、三角肌前部(anterior deltoids, AD)、肱二头肌(biceps brachii, BB)、肱三头肌(triceps brachii, TB)、指浅屈肌(the flexor digitorum superficialis, FDS)和指总伸肌(extensor digitorum communis, EDC)的RMS值来测量肌肉共同收缩率(co-contraction, CCR)。研究表明在患手以指浅屈肌为主的抓取任务和以三角肌为主的肩关节屈曲任务中,MAS评分分别与FDS、AD的CCR值呈正相关,且在肩关节屈曲时AD的CCR值与MAS评分的相关性更强。两个任务中,六个肌肉的CCR值与简化Fugl-Meyer评分(Fugl-Meyer motor scale, FMA)均呈负相关。该研究提示肌电图可以在共同收缩的运动模式中量化痉挛程度。Rasool等^[19]利用多通道表面肌电图建立了脑卒中后偏瘫患者肱二头肌收缩时的二维RMS图(即肌肉活动图),研究组发现肌电通道中具有最大RMS值处是肌肉活动区域的中心位置,考虑该位置是神经支配区域(Innervation Zone, IZ)。该研究提示脑卒中后存在运动功能障碍及痉挛的患侧上肢在肌肉活动图中的肌肉活动区域大小显著改变(不同受试表现不一:收缩或放大,但其收缩或放大的级别相似)、IZ有明显位移,但两者与MAS、FMA评分均无相关性。

积分肌电(iEMG)可体现肌肉在单位时间内的收缩特性,可用于脑卒中偏瘫患者上肢屈肌痉挛的客观评定及量化分级。谢平等^[20]利用sEMG研究了10例脑卒中后上肢肌张力增高的患者后发现净拮抗值(主动肌与拮抗肌肌电差值)与总拮抗值(主动肌与拮抗肌肌电总和)的iEMG及RMS与MAS评分呈正相关,可作为评价上肢痉挛的客观肌电指标。梁明等^[21]研究了15例脑卒中恢复期偏瘫患者的上肢表面肌电变化及运动功能的相关性:FMA评分与屈肘时肱二头肌iEMG值、伸肘时肱三头肌iEMG值、屈伸力矩大小呈正相关,但与CCR呈负相关。

1.1.3 F波:F波是周围神经接受电刺激后作出的一种晚期肌肉被激活的电位反应,可以用来判断脊髓前角运动细胞的兴奋性。F波对痉挛状态下运动神经元兴奋过程尤为敏感,即使肌肉紧张度发生很小的改变也可由F波的变化反映出来^[22]。冯新红等^[23]研究表明脑卒中急性期及恢复期双上肢正中神经F波波幅及潜伏期在与MAS评分呈正相关。张松东等^[24]研究表明恢复期脑卒中患者F波波幅、Fmean/M比值与MAS评分呈正相关,阈值则与MAS评分呈负相关。谢莉红等^[25]观察脑卒中恢复期患者双上肢正中神经F波的变化特征时发现:脑卒中患者患侧上肢F波波幅及面积分别与腕部及四指(拇指除外)MAS评分存在正相关,提示F波的波幅及面

积可作为脑卒中患者上肢痉挛程度评价客观的电生理指标。F波的出现率在脑卒中后的不同阶段及不同试验研究中都存在一定的差异性,尚无统一的参考标准^[26-27],目前临床研究应用较少。

1.2 基于诱发电位的评估方法

躯体感觉诱发电位(somatosensory evoked potentials, SEP),各个组分的获得有赖于人体后索-内侧丘系系统的完整性,是一种客观评价感觉通路完整性的神经电生理方法,可作为中枢系统是否正常的诊断手段以及中枢损伤后判断预后的依据之一。研究显示脑卒中急性期患者偏瘫侧正中神经SEP N20的振幅降低或波形异常、潜伏期延长^[28]。袁志红等^[29]研究发现正中神经SEP N20潜伏期值与MAS分级呈显著正相关,与Brunnstrom分期呈负相关,上述研究均支持正中神经SEP N20潜伏期是一个客观的电生理指标,可独立预测急性期脑卒中的偏瘫上肢运动康复潜能。

运动诱发电位(motor evoked potentials, MEP),是主要用于检查运动神经系统,特别是中枢运动通路锥体束功能,诊断中枢运动功能障碍性疾病一种直接而灵敏的方法,并可与SEP互为补充,全面反映神经系统运动和感觉通路的功能^[30]。目前临床MEP以经颅磁刺激(TMS)、重复经颅磁刺激(rTMS)为主要检查手段。Hendricks等^[31]及Coupar等^[32]研究者通过系统回顾的方式认为TMS的运动诱发电位是预测脑卒中后上肢功能康复的主要因素之一。Cakar等^[33]对22例脑卒中后遗症期患者利用TMS进行临床评估:脑卒中后患侧上肢MEP的波幅增大,并与MAS呈负相关;患侧MEP潜伏期及中枢运动传导时间均缩短,与Brunnstrom分期、手指敲击试验及运动活动记录表均呈负相关。Tretirluxana等^[34]在研究利用rTMS治疗脑卒中后患者上肢运动功能障碍及痉挛程度的过程中,亦采用rTMS记录患者的MEP值对疗效进行评估。

2 基于生物力学的评定方法

生物力学评定方法可以在客观量化评估上肢运动功能的基础上,提示患肢的运动策略,以帮助医师充分了解患者的上肢运动情况。目前常用的脑卒中后上肢痉挛性瘫痪的生物力学评定方法主要集中在三维运动分析以及等速肌力测定,但此两者与主观量表的相关性研究多呈阴性结果,这可能是由于运动学及力学参数本身具有更高的敏感性^[35]。

2.1 基于三维运动分析系统的评定方法

三维运动分析系统可以客观评估并量化上肢运动精度以及运动协调性。尽管上肢肢体冗余自由度众多,但普通人在日常生活中总是以相同的姿态和轨迹来完成同一种功能运动,各种日常功能运动轨迹展现出明显的规律性。Yang等^[36]利用OptiTrack三维运动分析系统研究了脑卒中患者患

侧上肢在执行伸手运动时的运动学特点:脑卒中患者的速度曲线有多个波峰,且其运动时间(movement time, MT)及减速时间较正常人显著延长。观察组MT值与伸手动作的难度系数呈线性相关,其峰值速度(peak velocity, PV)、达到峰值速度的时间百分比(percentage time to PV, PTPV)较正常组明显减小,而标准化急动值(normalized jerk score, NJS)则较正常组明显增大,提示脑卒中患者上肢较正常人活动范围缩小、速度减低且动作平顺度降低。此外研究组发现仅有PTPV与FMA呈负相关,表明PTPV可作为脑卒中患侧上肢功能评价的定量参数。Santos等^[37]则利用上述运动学参数分析了脑卒中后遗症偏瘫患者完成喝水任务的动作策略:脑卒中后患侧上肢在整个喝水过程中比常人有更多的肩胛骨前伸、躯体同侧侧屈,且在动作一开始和手将触及杯子这2个阶段尤为明显,建议临床医师对此制定相应的康复治疗方

2.2 基于等速肌力的评定方法

等速肌力测试在20世纪末未被开始运用于测定肌肉痉挛程度,但多集中于脑卒中后下肢肌肉痉挛的评定。齐瑞等^[39]观察了14例脑卒中轻偏瘫或处于恢复期的患者在进行肘关节低速(60°/s)、中速(120°/s)、高速(180°/s)等速运动时,患者肘关节屈曲和伸展运动时的峰力矩、峰力矩/体重比以及屈伸肌峰力矩比,发现等速肌力测试在轻偏瘫患者中的特点:其患侧肘关节屈伸肌肌力、肌肉耐力、肌肉做功效率均较对侧降低,而伸肌侧下降更明显。朱燕等^[40]得出了与上述研究相同的结论,更进一步指出即使是临床已无明显功能障碍的脑卒中患者,其健侧肢体在等速仪器上也表现出较为明显的肌力降低,提示恢复期脑卒中患者的上肢等速测试不宜单独使用健侧自身对照法进行研究。

3 基于康复工程的评定方法

为了更为深入地了解运动功能重建的神经机制和寻求更好的运动功能康复手段,研究者们正在不断研发新的策略和工具。先进的上肢康复机器人系统可以在康复训练的同时,通过记录生物力学数据(速度、力量等)及时客观地分析和评估患者运动功能恢复情况。张超等^[41]观察了利用我国自主研发的CASIA-ARM上肢康复辅助培训系统改善脑卒中后偏瘫患者上肢功能的临床疗效,研究组采用MAS、FMA及CASIA-ARM本身自带的运动轨迹记录系统对此进行评估,结果显示患侧直线触电运动轨迹的规律性及稳定性较治疗前明显增加,FMA较治疗前提高,提示治疗后患者肢体协调性及运动控制能力可以得到提高,且CASIA-ARM可对上肢功能进行动态、客观地监测。麻省理工大学研制的MIT-

MANUS 康复机械手可通过力矩传感器、电位器、测速电机采集患者上肢运动的速度、位置、力等数据,以作为患者上肢康复评定的依据,同时它还可用于上肢的平面运动训练,目前已被应用于临床^[42-43]。瑞士研究者^[44-45]开发的 ARMin 是一种新型的上肢三维多关节训练评估系统,目前已研发至第 3 代,ARMin III 能实时分析评估患肢主动活动及被动运动的活动范围、患肢的肌力,提示患肢的异常协同运动,但对上肢痉挛程度的评估程序目前仍在开发中。比利时研究者^[46]使用 REAplan 机器人量化患侧上肢在被动等速运动状态下的痉挛程度:肘屈肌在被动等速运动时,其速度与阻力呈正相关;肘屈肌在被动等速运动时其阻力(resistance force, RF)与 MAS 有相关性,且速度越大,两者相关性越显著。研究组亦证实了使用 REAplan 量化上肢痉挛程度具有较高的可靠性及较好的敏感性,但 REAplan 目前无法对单一关节或特定肌肉的痉挛状态进行量化评估。

4 基于影像学的评定方法

4.1 基于超声弹性成像的评定方法

超声弹性成像是近年发展起来的一种成像技术,它利用生物组织的弹性信息帮助疾病的诊断,主要包括:静态弹性成像、超声弹性成像(strain elastography, SE)、超声剪切波弹性成像(shear wave elastography, SWE)等技术。近年来,有研究团队开始探讨利用超声弹性成像技术量化脑卒中后肢体痉挛程度的可行性。Yaşar 等^[47]用 SE 测定了 26 例脑卒中后存在上肢痉挛患者(MAS 评分 $\geq$ 1 级)双侧指浅屈肌、指深屈肌、桡侧腕屈肌及尺侧腕屈肌的弹性系数和弹性比。研究发现患侧的参数均较健侧明显增加,但与 MAS 没有相关性,提示该技术日后可作为上肢痉挛程度的诊断及随访依据,但目前仍需要进一步研究。

SWE 是基于剪切波传播速度在不同组织中各不相同以及各组织本身具有不同弹性系数的机理,可实时显示出组织弹性图从而协助快速诊断^[48]。Eby 等^[49]利用 SWE 评估了一例 42 岁脑梗塞后遗症期(右侧大脑中动脉阻塞)的男性患者患侧上肢的痉挛程度,其 MAS 评分为 I 级。该研究发现在 90°至 165°的被动伸肘试验过程中,在以 60°/s 的伸肘速度伸肘至 165°时剪切波信号最为明显,肢体刚度最高。值得注意的是,在被动伸肘过程中,深层肱肌的刚度改变比肱二头肌更为明显。试验亦给出了在伸肘过程中的弹性系数及剪切波速的样本集,提示利用 SWE 量化痉挛程度的具有可行性,并可以提供对痉挛肌群更为精准的定位。台湾大学运用 SWE 分析了 31 例脑卒中患者(病程在 8.4 $\pm$ 7.6 周)肘屈为 0°及 90°时的剪切波速,结果显示健侧剪切波速均明显大于患侧,且在肘屈 90°时,剪切波速与 MAS 评分及 Tardieu 量表呈正相关,提示剪切波速可作为评价痉挛程度的定量指标^[50]。

4.2 基于 CT、MRI 的评定方法

了解病灶与痉挛状态之间的关系,是协助临床医师判断脑卒中后痉挛状态的发展趋势及预后的基石。Chuang 等^[51]利用 CT 及 MRI 探讨了与脑卒中后上肢痉挛状态与病灶位置及体积间的关系,研究提示壳核是最为常见的病灶,而痉挛程度则与病灶体积呈正相关。该研究还初步建立了一套成像模式能使与上肢痉挛相关的病灶可视化,临床医师可借此更直观地在 CT 及 MRI 上对痉挛程度做出预测及随访评估。Pundik 等^[52]利用 fMRI 研究了脑卒中后遗症期上肢痉挛状态与脑功能的关系。该研究发现在治疗前患者痉挛程度越严重,健侧丘脑与任务相关的信号强度就越强;而经康复训练,患肢痉挛状态得到缓解后,则会引起健侧的初级运动区、运动前区、初级感觉区的信号激活。该结果提示脑卒中后,健侧运动区可能有助于改善脑卒中后遗症期的上肢肌张力障碍。

5 客观评价方法的局限性及发展趋势

5.1 客观评价方法的局限性

客观评价工具在脑卒中后上肢痉挛性瘫痪中的研究应用目前仍集中于与主观量表之间是否存在相关性的阶段,尚缺乏统一的量化评价指标,并缺乏大样本研究。神经电生理检查虽目前常被应用于脑卒中后上肢痉挛性瘫痪疗效的客观评价中^[23,30,53],但 H 反射、F 波及诱发电位在临床检测脑卒中后患肢时均有发生无法引出的情况而干扰最终研究结果^[26-27,54],并受到价格较为昂贵、耗时较长、不同型号设备结果存在一定差异性等条件的限制。由于完整的正常上肢运动学数据库还未完全形成,从而限制了使用三维运动分析系统、康复机器人来比较分析上肢异常运动的特点,且该评定方法需要大型配套仪器,并受患者本人经济状况和意愿等多方面条件的限制,目前距离临床的普及应用仍有一段探索期。越来越多的研究团队开始探讨超声弹性成像及计算机断层扫描技术用于量化脑卒中后上肢痉挛状态的可行性,但仍待进一步的大样本研究结果。

5.2 客观评价方法的发展趋势

尽管如此,针对脑卒中后上肢痉挛性瘫痪的客观评价方法仍然在不断完善和发展中。人体上肢运动链非常复杂,且功能运动非常丰富,肌张力只是描述痉挛程度的其中一个维度^[38]。随着日益增长的康复需求,对脑卒中后患者上肢的痉挛状态及运动功能的系统化、量化的评估日趋重要。可通过时间和空间缺陷互补而达到实时动态研究目的的上肢康复机器人、可穿戴式传感测评设备^[55],和为了更加精确、客观的测量及定量,对表面肌电图半自动化甚至自动化佩戴的研发,以及对痉挛病灶定位量化的可视化技术,这些都是日后客观评定方法的发展方向。而随着生物力学与康复工程的不断进步,以及上肢运动分析标准化的不断完善,利用生

物力学、康复机器人对脑卒中后上肢痉挛性瘫痪异常运动模式的评估分析也必然会被越来越多地应用于研究及临床。

6 小结

康复医学的发展有赖于康复评估规范化、完善化、系统化的持续研究。评估方法的效能直接影响康复的预后。如今,对客观评价方法的深入探索逐渐成为学界研究的主流,诸如ARMin上肢康复机器人、OptiTrack三维运动分析系统等客观评估手段不断推陈出新,它们可与主观量表互为补充,使脑卒中患者的康复治疗更加精准化,从而提升临床康复服务质量。但如何整合这些客观评估工具,使其更高效地为评估脑卒中后上肢痉挛状态等临床问题服务,以及探索如何更合理地使主客观评价方法相结合,从而建立康复专业化、规范化的评估流程,这需要广大学界同仁共同努力探索和研究。

参考文献

- [1] Lance JW. Symposium synopsis[M]//Feldman RG, Young RR, Koella WP, et al. Spasticity, disordered motor control. Symposia Specialists, distributed by Year Book Medical Publishers, 1980.485—494.
- [2] Urban PP, Wolf T, Uebele M, et al. Occurrence and clinical predictors of spasticity after ischemic stroke[J]. Stroke, 2010, 41(9):2016—2020.
- [3] Lundström E, Smits A, Terént A, et al. Time-course and determinants of spasticity during the first six months following first-ever stroke[J]. Journal of Rehabilitation Medicine, 2010, 42(4):296—301.
- [4] 崔利华, 山磊, 杨宇琦. 首次脑卒中后6个月内肢体痉挛情况调查[J]. 中国康复理论与实践, 2014, 20(12):1144—1146.
- [5] Trompetto C, Marinelli L, Mori L, et al. Pathophysiology of spasticity: implications for neurorehabilitation[J]. Biomed Research International, 2014, 2014(2014):1—8.
- [6] 姜荣荣, 陈艳, 潘翠环. 脑卒中后上肢和手运动功能康复评定的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21(10):1173—1177.
- [7] 王玉昌, 庞伟, 冯欢欢, 等. 痉挛型大鼠骨骼肌不同功能状态下表面肌电特征性变化的研究[J]. 现代生物医学进展, 2015, 15(14):2658—2662.
- [8] 李青青, 吴宗耀, 罗利平. 表面肌电图的信度研究[J]. 中国康复医学杂志, 2006, 21(3):224—227.
- [9] 吴毅. 经颅磁刺激在脑卒中康复中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(2):130—132.
- [10] Burridge JH, Wood DE, Hermens HJ, et al. Theoretical and methodological considerations in the measurement of spasticity[J]. Disability & Rehabilitation, 2005, 27(1—2):69—80.
- [11] Voerman GE, Gregorič M, Hermens HJ. Neurophysiological methods for the assessment of spasticity: The Hoffmann reflex, the tendon reflex, and the stretch reflex[J]. Disability & Rehabilitation, 2005, 27(1-2):33.
- [12] Bhimani RH, Anderson LC, Henly SJ, et al. Clinical measurement of limb spasticity in adults: state of the science[J]. Journal of Neuroscience Nursing, 2011, 43(2):104—115.
- [13] Phadke CP, Robertson CT, Condliffe EG, et al. Upper-extremity H-reflex measurement post-stroke: reliability and inter-limb differences[J]. Clinical Neurophysiology, 2012, 123(8):1606.
- [14] Naghdi S, Ansari NN, Mansouri K, et al. Neurophysiological examination of the Modified Modified Ashworth Scale (MMAS) in patients with wrist flexor spasticity after stroke[J]. Electromyography & Clinical Neurophysiology, 2008, 48(1):35.
- [15] 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, (12):1159—1162.
- [16] 李红玲, 徐凌娇, 岳威, 等. H反射在脑卒中后上肢偏瘫患者中的特征表现及分析[J]. 中国康复医学杂志, 2012, (1):44—48.
- [17] 李芳, 安丙辰, 郑洁皎. 表面肌电图在脑卒中患者手神经肌肉功能评定中的应用[J]. 中国康复理论与实践, 2015, (3):280—283.
- [18] Ohn SH, Yoo WK, Kim DY, et al. Measurement of synergy and spasticity during functional movement of the post-stroke hemiplegic upper limb[J]. Journal of Electromyography & Kinesiology, 2013, 23(2):501.
- [19] Rasool G, Afsharipour B, Suresh N, et al. Spatial Analysis of Multichannel Surface EMG in Hemiplegic Stroke[J]. IEEE Transactions on Neural Systems & Rehabilitation Engineering, 2017, 10(3):1—10.
- [20] 谢平, 宋妍, 苏崇钦, 等. 脑卒中患者表面肌电信号与痉挛性肌张力关系分析[J]. 生物医学工程学杂志, 2015, (4):795—801.
- [21] 梁明, 窦祖林, 温红梅, 等. 脑卒中患者肘屈伸肌表面肌电变化与运动功能的相关性[J]. 中华医学杂志, 2014, 94(17):1304—1308.
- [22] Fierro B, Raimondo D, Modica A. F-wave study at different stimulation rates[J]. Electromyography & Clinical Neurophysiology, 1993, 31(6):357—360.
- [23] 冯新红, 薛俊燕, 辛世萌. 50例脑卒中患者双上肢F波的研究[J]. 大连医科大学学报, 2013, (2):146—148.
- [24] 张松东, 吴建贤, 胡燕杰, 等. 脑卒中恢复期患者偏瘫上肢治疗后肌电F波变化[J]. 安徽医科大学学报, 2017, (6):907—911.
- [25] 谢莉红, 陈军, 蒋珍秀, 等. 脑卒中患者双上肢F波的变化及其评价肢体痉挛的可靠性[J]. 中国神经免疫学和神经病学杂志, 2016, (5):322—326.
- [26] Li X, Fisher M, Rymer WZ, et al. Application of the F-Response for Estimating Motor Unit Number and Amplitude Distribution in Hand Muscles of Stroke Survivors[J]. IEEE Transactions on Neural Systems & Rehabilitation Engineering, 2016, 24(6):674—681.
- [27] Luvizutto GJ, Bertotti MF, Fernandes TD, et al. Associa-

- tion between clinical condition and F-waves changes in the acute phase of stroke[J]. *Arquivos de neuro- psiquiatria*, 2016, 74(9):708.
- [28] 肖湘,黄东锋,曹黎明,等. 体感诱发电位和脑卒中患者上肢运动功能结局的关系[J]. *中国康复医学杂志*,2015,(7):696—698.
- [29] 袁志红,顾雁浩,马兆丽,等. 正中神经体感诱发电位和脑卒中偏瘫侧上肢肢体功能的相关性[J]. *中国康复医学杂志*,2013, 28(11):1063—1064.
- [30] 刘建民,郑健. 诱发电位在脑卒中患者脑功能评估中的应用[J]. *中国临床康复*, 2004, 8(7):1316—1318.
- [31] Hendricks HT, Zwarts MJ, Plat EF, et al. Systematic review for the early prediction of motor and functional outcome after stroke by using motor- evoked potentials[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002, 83(9):1303—1308.
- [32] Coupar F, Pollock A, Rowe P, et al. Predictors of upper limb recovery after stroke: a systematic review and meta-analysis[J].*Clinical Rehabilitation*,2012, 26(4):291—313.
- [33] Cakar E, Akyuz G, Durmus O, et al. The relationships of motor- evoked potentials to hand dexterity, motor function, and spasticity in chronic stroke patients: a transcranial magnetic stimulation study[J]. *Acta Neurologica Belgica*, 2016, 116(4):1—7.
- [34] Tretriluxana J, Kantak S, Tretriluxana S, et al. Low frequency repetitive transcranial magnetic stimulation to the non- lesioned hemisphere improves paretic arm reach-to-grasp performance after chronic stroke[J]. *Disability & Rehabilitation Assistive Technology*, 2013, 8(2):121.
- [35] Sivan M, O'Connor RJ, Makower S, et al. Systematic review of outcome measures used in the evaluation of robot-assisted upper limb exercise in stroke[J]. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 2011, 43(3):181.
- [36] Yang Q, Yang Y, Luo J, et al. Kinematic Outcome Measures using Target- Reaching Arm Movement in Stroke[J]. *Annals of Biomedical Engineering*, 2017,8(1):1—10.
- [37] Santos GL, Russo TL, Nieuwenhuys A, et al. Kinematic analysis of a drinking task in chronic hemiparetic patients using features analysis and Statistical Parametric Mapping [J]. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2017,11 (14):11—22.
- [38] Mccrea PH, Eng JJ, Hodgson AJ. Biomechanics of reaching: clinical implications for individuals with acquired brain injury[J]. *Disability & Rehabilitation*, 2002, 24(10): 534.
- [39] 齐瑞,严隽陶,房敏,等. 脑卒中偏瘫患者肘关节屈伸肌等速肌力测试研究[J]. *中国康复医学杂志*,2007,(1):58—59.
- [40] 朱燕,陈永强,齐瑞,等. 恢复期脑卒中患者肘关节等速测试的研究[J]. *中国康复*,2008,(5):316—318.
- [41] 张超, 刘璇, 侯增广,等. 上肢机器人辅助疗法对恢复期脑卒中患者上肢运动功能及日常生活活动能力的效果[J]. *中国康复理论与实践*, 2016, 22(12):1365—1370.
- [42] Morales R, Badesa FJ, Garcã-A-Aracil N, et al. Pneumatic robotic systems for upper limb rehabilitation[J]. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 2011, 49(10):1145—1156.
- [43] Obayashi C, Tamei T, Shibata T. Assist-as-needed robotic trainer based on reinforcement learning and its application to dart-throwing[J]. *Neural Networks*, 2014, 53(53C):52—60.
- [44] Colomer C, Baldoví A, Torromé S, et al. Efficacy of Armeo® Spring during the chronic phase of stroke. Study in mild to moderate cases of hemiparesis[J]. *Neurología*, 2013, 28(5):261—267.
- [45] Nef T, Guidali M, Riener R. ARMinIII-arm therapy exoskeleton with an ergonomic shoulder actuation. *Appl Bionics Biomech*[J]. *Applied Bionics & Biomechanics*, 2015, 6 (2):127—142.
- [46] Dehem S, Gilliaux M, Lejeune T, et al. Assessment of upper limb spasticity in stroke patients using the robotic device REAplan[J]. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 2017, 49(6):565—571.
- [47] Yaşar E, Adigüzel E, Kesikburun S, et al. Assessment of Forearm Muscle Spasticity with Sonoelastography in Patients with Stroke[J]. *Br J Radiol*, 2016, 89(6):21—30.
- [48] Brandenburg JE, Eby SF, Song P, et al. Ultrasound Elastography: The New Frontier in Direct Measurement of Muscle Stiffness[J]. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2014, 95(11):2207—2219.
- [49] Eby SF, Zhao H, Song P, et al. Quantifying spasticity in individual muscles using shear wave elastography[J]. *Radiology Case Reports*, 2017, 12(2):348—352.
- [50] Wu CH, Ho YC, Hsiao MY, et al. Evaluation of Post-stroke Spastic Muscle Stiffness Using Shear Wave Ultrasound Elastography[J]. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2017, 43(6):1105.
- [51] Cheung DK, Climans SA, Black SE, et al. Lesion Characteristics of Individuals With Upper Limb Spasticity After Stroke[J]. *Neurorehabilitation & Neural Repair*, 2015, 30(1): 63.
- [52] Pundik S, Falchook AD, McCabe J, et al. Functional Brain Correlates of Upper Limb Spasticity and Its Mitigation following Rehabilitation in Chronic Stroke Survivors[J]. *Stroke Research & Treatment*, 2014, 2014(2014):57—64.
- [53] 孙玮,赵晨光,牟翔,等. 低频重复经颅磁刺激治疗脑卒中患者上肢痉挛的临床研究[J]. *中国康复*,2017,32(2):102—105.
- [54] 王宏斌,龙华,袁华,等. 低频重复经颅磁刺激联合以任务为导向作业疗法对脑卒中患者上肢运动功能的康复作用[J]. *中国现代神经疾病杂志*,2017,17(04):254—260.
- [55] de Lucena DS, Stoller O, Rowe JB, et al. Wearable sensing for rehabilitation after stroke: Bimanual jerk asymmetry encodes unique information about the variability of upper extremity recovery[C]. *International Conference on Rehabilitation Robotics*. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*, 2017:1603.