

·循证医学·

表面肌电评定脑卒中后肢体痉挛状态的meta分析*

向云^{1,2} 刘家庆^{1,2}

摘要

目的:探究表面肌电评定脑卒中后肢体痉挛状态的有效性。

方法:计算机检索Pubmed、Cochrane Library、Embase、中国知网(CNKI)、维普数据库、万方数据库,检索年限从建库到2018年1月。使用Stata12.0及GetData软件进行数据的提取和分析,使用GRADE软件对分析结果进行证据质量评价。

结果:共提取19篇文献,597例受试者。meta分析结果显示脑卒中后肢体痉挛肌与非痉挛肌相比:RMS值具有显著性差异[MD=0.98,(95%CI:0.7,1.26), $P < 0.05$],且与MAS具有相关性[MD=10.7,(95%CI:4.25,17.15), $P < 0.05$];IEMG值和CR值同样具有显著性差异[MD=-1.29,(95%CI:-1.64,-0.94), $P < 0.05$][MD=1.29,(95%CI:0.77,1.8), $P < 0.05$]。

结论:表面肌电可以有效评定脑卒中后肢体痉挛的状态和严重程度,但仍需多中心、大样本的实验进一步证明。

关键词 脑卒中;痉挛;表面肌电;meta分析

中图分类号:R741, R493 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2019)-08-0960-06

脑卒中是以高发病率、高致残率、高死亡率为特点的脑血管疾病,为老年人致死及致残的首要原因^[1]。据统计,约70%—80%的脑卒中患者伴有不同程度的肢体痉挛,其是导致功能障碍的主要原因之一^[2]。痉挛的治疗是脑卒中后康复的重点,对痉挛的精准诊断是安全有效治疗的第一步^[3]。目前临床上常使用主观量表等对痉挛状态进行评估,如改良Ashworth量表等,但其仍存在一定的局限性,如主观性过强,应用范围小,不能进行量化测定等^[3]。

表面肌电是一种使用粘贴于皮肤表面电极记录骨骼肌电活动的神经电生理测量方法,其作为一种评价脑卒中后痉挛状态的有效客观定量评价指标,逐渐应用于临床中^[4]。目前国内采用表面肌电评价脑卒中后肢体痉挛状态的临床研究较少,且缺乏相关的系统综述和评价。因此,本文对表面肌电信号评价脑卒中后肢体痉挛状态的有效性进行meta分析,以求在一定程度上说明其有效性,为临床及科研提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 检索策略

采用计算机和人工检索相结合的方式,检索数据库包括中文数据库和英文数据库,中文数据库包括中国知网、维普及万方数据库,英文数据库包括Pubmed、Cochrane Library、Embase数据库。查找公开发表的使用表面肌电评定脑卒中

后痉挛状态的观察性研究,检索年限从建库到2018年1月。中文检索词包括肌电图、表面肌电、脑卒中、脑出血、脑梗塞、偏瘫、中风、痉挛、肌张力增高等。英文检索词包括electromyography、stroke、hemiplegia、cerebravascular、cerebral hemorrhage、cerebral infarction、spasticity、spastic muscle、spasm、hypertonia等。中文检索式为(肌电图 OR 表面肌电)AND (脑卒中 OR 脑出血 OR 脑梗塞 OR 中风 OR 偏瘫)AND (痉挛 OR 肌张力增高 OR 肌张力升高)。英文检索式为(electromyography OR sEMG) AND (stroke OR hemiplegia OR cerebravascular OR “cerebral hemorrhage” OR “cerebral infarction”) AND (spasticity OR spastic muscle OR spasm OR hypertonia)

1.2 纳入标准

采用PICOS原则进行纳入标准的设定:①研究对象:脑卒中患者,伴肢体肌张力升高,年龄>18岁;②评价方法:表面肌电图;③备选因素:正常人组或健侧;④表面肌电指标:均方根值(RMS)、积分肌电值(iEMG)、协同收缩率(CR)、最大协同收缩(MVC)、潜伏期、H/M比值等;⑤研究类型:观察性研究。

1.3 排除标准

①实验性研究;②采取其他干预措施;③采用针状电极;④结局指标不明;⑤仅有摘要;⑥未发表或见刊的文献。

1.4 文献筛选和资料提取

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.08.017

*基金项目:国家自然科学基金联合基金重点支持项目(U1613207);深圳市卫生计生系统科研项目(SZXJ2018026);深圳市基础研究学科布局项目(JCYJ20170818163724754)

1 深圳市南山区人民医院,广东深圳,518052; 2 深圳大学第六附属医院

作者简介:向云,男,主任医师; 收稿日期:2018-03-25

使用Endnote软件进行文献的收集和提取。采用两人独立提取法,如两人意见相悖,则请第三人判断。提取内容包括:①纳入文献的基本特征,包括:作者、发表年份、年龄、刺激参数、作用部位及结局指标;②文献的偏倚风险评估要素和证据等级要素;③进行meta分析的指标数据。

1.5 偏倚风险

使用NOS量表(Newcastle-Ottawa Quality Assessment Scale,NOS)进行观察性研究的偏倚风险评估,该量表为半定量的评估量表,使用星级评分。第一部分为病例组和对照组的选择,4个条目,每条目1星;第二部分为可比性,1个条目,共2星;第三部分为暴露,3个条目,每条1星^[5]。

1.6 证据质量

采用GRADE profiler软件进行证据等级评定,分为4个等级。极低质量、低质量、中等质量、高质量,本文纳入研究为观察性研究,因此主要考虑3项升级因素,即效应量大、剂量反应和所有可能的混杂因素^[6]。

1.7 统计学分析

使用GetData Graph Digitizer进行图表中数据提取,利用stata12.0进行统计分析。采用Metan命令进行统计学分析,结果均计算95%可信区间(CI)并进行异质性检验。对于连续性数据,采用经典meta分析方法,对于两指标间相关性,采用多水平分析策略,结果均用森林图表示。

2 结果

2.1 文献筛选结果

本文通过检索得到743篇文献,通过阅读题目和摘要进行初筛,去除重复的文献后得到363篇。之后依照纳入标准和排除标准进行复筛,最终纳入19篇文献进行meta分析,包括5篇中文和14篇英文,597例受试者。见图1。

2.2 纳入文献的基本特征

本文纳入的19篇文献均为观察性研究,均采用表面肌电进行数据采集和痉挛的评定。其中7篇^[10-12,14-15,22-23]研究采用健侧和患侧对比,7篇^[16-21,25]研究采用患者和正常人比较,5篇^[7-9,13,24]研究将不同肌张力等级的患者进行比较。见表1。

图1 文献筛选流程及结果

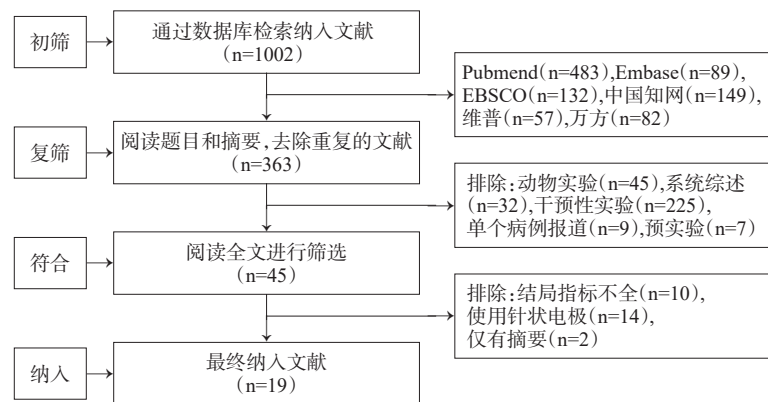


表1 纳入文献的基本特征

姓名	年份	病例数(患者/正常人)	年龄(患者/正常人)	参数(Hz)	部位	结局指标
Hu ^[7]	2018	26	53.85±15.39	1000	肱二头肌	RMS
Wang ^[8]	2017	39	51.82±14.48	4000	肱二头肌、肱三头肌	RMS
冯重睿 ^[9]	2017	15/15	40-60	1000	胸大肌、三角肌	RMS
廖志平 ^[10]	2017	60	54.74±12.25	1000	股四头肌	AEMG、RMS
Yeh ^[11]	2016	22	59.14±9.1	256	股四头肌、小腿三头肌	RMS
高业松 ^[12]	2015	32	48—75	NR	小腿三头肌	潜伏期 H/M 比值
Xie ^[13]	2015	10	47.4±14	1000	肱二头肌、肱三头肌	RMS MPF MF IEMG CR
Hu ^[14]	2015	10	43—71	10K	肱二头肌	潜伏期
Naghdi ^[15]	2014	20	52.7±10.86	3—5K	肱二头肌	潜伏期 H/M 比值
Mottram ^[16]	2014	10/10	62.3±4 61.9±4	20—2000	肱二头肌、肱三头肌	AEMG、CR
Liang ^[17]	2014	15/15	40—80	1000	肱二头肌、肱三头肌	iEMG、CR
Ohn ^[18]	2013	12/10	58.3±7.3 50.2±6.3	1000	肱二头肌	CR、潜伏期
Kallenberg ^[19]	2011	18/20	39—78 46—71	2048	肱二头肌	RMS、MF
Kuriki ^[20]	2010	22/15	64.2±11.7 60.1±9.5	2000	腕屈、伸肌	iEMG
Jiang ^[21]	2010	21/18	67±11 56±11	1000	股四头肌	RMS CR MVC
Fleuren ^[22]	2009	19	57.7±12.3	1000	股四头肌	RMS
王永慧 ^[23]	2008	32	43—70	NR	下肢肌肉	潜伏期 H/M 比值
杨坚 ^[24]	2007	90	60.1±22.16	1000	肱二头肌	iEMG
Shamay ^[25]	2005	11/10	61.1±6.8 63.5±6.1	12—2.4k	踝背屈/跖屈肌	CR、iEMG

2.3 纳入文献的偏倚风险评估

本研究纳入的随机对照试验基线均衡性一致,研究具有

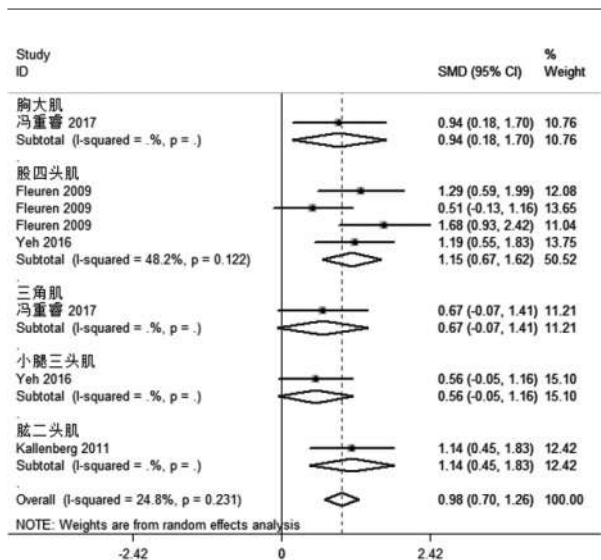
可比性。共3项^[16-18]研究总分大于6分,可视为较高质量文献^[26],其余文献均存在不同程度的偏倚。见表2。

表2 纳入研究的偏倚风险评估

研究	选择				可比性	结果			总分
	①	②	③	④		①	②	③	
Hu ^[7]	*	*			*		*		4
Wang ^[8]	*	*			*		*		4
冯重睿 ^[9]	*	*		*	*		*	*	6
廖志平 ^[10]	*	*			*		*		3
Yeh ^[11]	*	*			*		*		4
高业松 ^[12]	*	*			*		*		3
Xie ^[13]	*	*			*		*		3
Hu ^[14]	*	*			*		*		3
Naghdi ^[15]	*	*			*		*		3
Mottram ^[16]	*	*		*	**		*	*	7
Liang ^[17]	*	*		*	**		*	*	7
Ohn ^[18]	*	*		*	**		*	*	7
Kallenberg ^[19]	*	*		*	*		*	*	6
Kuriki ^[20]	*	*		*	*		*	*	6
Jiang ^[21]	*	*		*	*		*	*	6
Fleuren ^[22]	*	*			*		*		4
王永慧 ^[23]	*	*			*		*		3
杨坚 ^[24]	*	*			*		*	*	5
Shamay ^[25]	*	*		*	*		*	*	6

注:选择:①暴露队列的代表性;②非暴露队列的选择;③暴露的确定;④研究开始时所关注的结果未出现。结果:①结果的测定方法;②随访时间;③随访的完整性。*代表每个条目的星级数。

图2 RMS的meta分析森林图



2.4 meta分析结果

2.4.1 均方根平均值(RMS):共9篇^[7-11,13,19,21-22]文献选用了RMS作为表面肌电指标,共283例,其中5篇^[9,11,19,21-22]进行了脑卒中患者患侧与健侧对比,或者与正常人组对比,剔除异质性较大的1篇^[21],meta分析结果显示,脑卒中患者患侧的RMS值高于健侧(或正常人),差异具有显著性意义[MD=

0.98,(95%CI:0.7,1.26), $P < 0.05$],根据不同肌肉进行亚组分析,小腿三头肌及三角肌的RMS值在患健侧差异无显著性意义($P > 0.05$),而胸大肌、股四头肌及肱二头肌RMS值患健侧差异均有显著性意义($P < 0.05$),见图2。共4篇^[7-8,10,13]文献探究了改良Ashworth分级(MAS)分组的RMS值。使用多水平分析策略估计回归系数,随后估计相关参数,可以发现,RMS与MAS值之间相关性具有显著性意义[MD=10.7,(95%CI:4.25,17.15), $P < 0.05$],见图3。

2.4.2 积分肌电值(iEMG):共5篇^[13,17,20,24-25]文献使用了iEMG作为评价指标,共158例。剔除以肌张力作为分组标准的1篇^[13],余文献均以患健侧或正常人和患者作为对比进行观察。meta分析结果显示,脑卒中患者患侧的iEMG与健侧(或正常人)相比,差异具有显著性意义[MD= - 1.29,(95%CI: - 1.64, - 0.94), $P < 0.05$],见图4。

2.4.3 协同收缩率(CR):6篇^[16-18,21,25]文献使用了协同CR作为表面肌电评价指标,共132例。其中5篇文献均采用患者和正常人作为对照,故剔除以肌张力作为分组标准的1篇^[13],根据肌肉分亚组进行meta分析。结果显示脑卒中患者的CR值与正常人不同,其差异具有显著性意义[MD=1.29,(95%CI:0.77,1.8), $P < 0.05$],各亚组除胫前肌组外,其余亚组均具有显著性意义($P < 0.05$)。见图5。

2.5 GRADE证据等级质量

使用GRADE评价系统,对所有证据结果进行评价。其

中RMS指标因其样本量较大而升一级,评价为中等质量证据;iEMG和CR值即不满足升级条件,也不满足降级条件,故评价为低质量等级证据。见图6。

图3 RMS与MAS相关性森林图

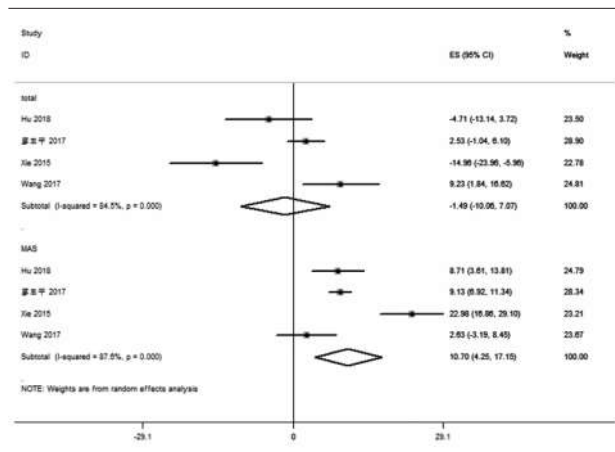


图4 IEMG的meta分析森林图

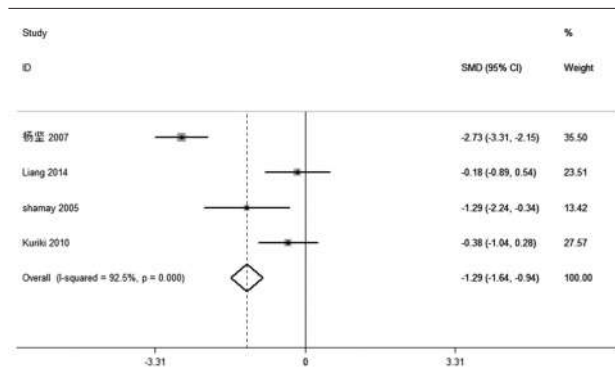


图5 CR的meta分析森林图

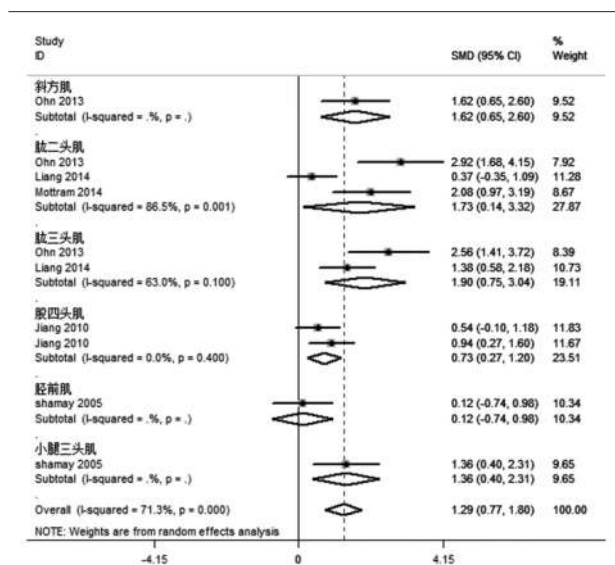


图6 证据等级质量评价

表格说明: 证据等级					
Patient or population: patients with 脑卒中					
Settings: 康复科					
Intervention: 康复治疗					
Outcome	(Qualitative comparative risk)* (95% CI)	Assessed risk	Corresponding risk	Number of participants (studies)	Quality of the evidence (GRADE)
总样本量 (n=100)	The mean (SD) of the risk in the intervention group was 4.25 higher (95% CI 1.7 higher)	4.25	4.25	203 (3 studies)	中等质量 (moderate)
部分样本量 (n=100)	The mean (SD) of the risk in the intervention group was 1.84 lower (95% CI 0.84 lower)	1.84	1.84	100 (4 studies)	低质量 (low)
随访时间 (n=100)	The mean (SD) of the risk in the intervention group was 0.77 higher (95% CI 0.77 higher)	0.77	0.77	100 (5 studies)	低质量 (low)

*The basis for the assessed risk (e.g. the median control group risk across studies) is provided in footnotes. The corresponding risk (and its 95% confidence interval) is based on the assessed risk in the control group and the relative effect of the intervention (and its 95% CI).

CI: Confidence interval.

GRADE Working Group grades of evidence

High quality: Further research is very unlikely to change our confidence in the estimate of effect.

Moderate quality: Further research is likely to have an important impact on our confidence in the estimate of effect and may change the estimate.

Low quality: Further research is very likely to have an important impact on our confidence in the estimate of effect and is likely to change the estimate.

Very low quality: We are very uncertain about the estimate.

3 讨论

表面肌电是一种科学客观评价肌张力的方法,因其参数稳定可靠、变异系数小及信度高等因素具有较高的科研和临床应用价值^[27]。与传统量表相比,其能够更好量化痉挛并不受评定人员主观影响;与传统肌电图相比,其具有更高的安全性和操作性,因其无创而能更好被患者所接受。

表面肌电能够反映肌肉的神经电生理特性,其与痉挛的发生机制相关。痉挛是由上运动神经元损伤导致的以肌肉紧张或僵硬为特征的神经肌肉功能障碍,通常将其定义为速度依赖性的牵张反射亢进^[28]。对于肌肉的电刺激或机械刺激均可引起肌肉的神经电生理活动,比如对于肌腱的叩击,或者被动牵伸等,表面肌电可以采集这种活动从而评价肌肉的痉挛状态^[29]。

H反射由 Hoffman描述,其由牵张反射激活肌梭感受器引起,传统将H反射潜伏期及H/M比值等应用于痉挛的评定中,但有研究表明,H反射潜伏期及H/M比值等在脑卒中痉挛性瘫痪的患侧与健侧并无显著性差异^[30]。因此,目前临床上更多使用时域或频域指标作为表面肌电的常用评定指标。常用的时域分析参数主要包括:均方根值(root mean square, RMS)、平均肌电值(average EMG, AEMG)、积分肌电值(integrated EMG, iEMG)。频域分析是对肌电信号进行快速傅立叶转换,获得信号的功率谱。频域分析参数主要包括平均功率频率(mean power frequency, MPF)、中位频率(median frequency, MF)等^[31]。

时域指标因其分析方法相对简单,技术成熟等原因,在临床中使用较频域指标广泛^[32]。RMS在一定程度上反应参与肌肉收缩过程中募集活动的运动单位数量,是评价运动单位募集数量的有效指标,因其在评估肌力上有良好的线性关系,最初被应用于肢体功能测试及评价中^[33]。目前越来越多的临床研究也将RMS作为评价肢体痉挛的指标,近期 Kim等^[34]研究发现RMS与牵张反射阈值具有相关性,进而说明其可作为评价肌张力的有效指标。通过meta分析可见其在肢体痉挛侧和非痉挛侧的表现具有差异性,并且其与MAS值具有正相关性。由此可在一定程度上说明,RMS不仅可

以辅助判断痉挛的存在,也可以评价痉挛的程度。

有研究说明,肌肉收缩时产生肌张力的大小与神经肌肉募集量有关,肌肉收缩时参与的肌纤维数目越多,激活的运动单位数目越多,产生的张力就越大^[35]。iEMG为单位时间内参与活动的运动单位的放电总量的反映,可体现运动单位募集程度^[31]。Onishi等^[36]研究表明,iEMG与患者痉挛等级具有相关性,可有效评价患者痉挛状态。协同收缩是维持肢体姿势稳定性的必要条件,是一种生理现象,脑卒中患者常出现过度的协同收缩模式^[37]。协同收缩率(CR)反映主动肌和拮抗肌之间的协同收缩形式,其在痉挛肢体的牵张反射过程中变化明显,可作为评价肢体痉挛状态的有效指标^[38]。燕铁斌等^[39]认为脑卒中患者踝背屈拮抗肌的协同收缩率高于健侧及正常人。meta分析结果显示iEMG和CR值均可作为痉挛的有效评价指标,但受证据等级质量的限制,具有一定的局限性。

本文对表面肌电评价脑卒中后痉挛的效果进行了评价,但仍存在以下不足:①仅纳入观察性研究,存在一定的局限性;②不同肌肉的量化结果存在差异,因此meta分析结果存在较大的异质性;③仅对中文和英文文献进行检索,存在语言的局限性;④样本量有限,无法对所有相关指标进行评价说明,如频域指标等表面肌电指标效果仍需进一步探究。

综上所述,现有证据表明,表面肌电是客观评价脑卒中后痉挛的有效方法,具有较高的临床应用价值。但受研究质量和证据等级的限制,仍需大样本、多中心的研究对其进行进一步探究。

参考文献

- [1] Guan T, Ma J, Li M, et al. Rapid transitions in the epidemiology of stroke and its risk factors in China from 2002 to 2013[J]. *Neurology*, 2017, 89(1): 53—61.
- [2] Pearn J, O'Connor RJ. Community stroke rehabilitation helps patients return to work[J]. *Practitioner*, 2013, 257(1764): 23—27, 2—3.
- [3] Opheim A, Danielsson A, Murphy MA, et al. Early prediction of long-term upper limb spasticity after stroke: Part of the SALGOT study[J]. *Neurology*, 2015, 85(10):873.
- [4] Bhimani RH, Anderson LC, Henly SJ, et al. Clinical measurement of limb spasticity in adults: state of the science [J]. *J Neurosci Nurs*, 2011, 43(2):104—115.
- [5] Stang A. Critical evaluation of the Newcastle-Ottawa scale for the assessment of the quality of nonrandomized studies in Meta-analyses[J]. *Eur J Epidemiol*, 2010, 25(9):603—605.
- [6] Group GW. Grading quality of evidence and strength of recommendations[J]. *Allergy*, 2009, 64(5):669—677.
- [7] Hu B, Zhang X, Mu J, et al. Spasticity assessment based on the Hilbert-Huang transform marginal spectrum entropy and the root mean square of surface electromyography signals: a preliminary study[J]. *Biomed Eng Online*, 2018, 17(1): 27.
- [8] Lei W, Xin G, Peng F, et al. A new EMG-based index towards the assessment of elbow spasticity for post-stroke patients[J]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2017: 3640—3643.
- [9] 冯重睿, 郭永亮, 张新斐. 卒中后男性患者上肢屈肌痉挛模式表面肌电分析[J]. *国际医药卫生导报*, 2017, 23(5):666—669.
- [10] 廖志平, 马利娜, 李建华,等. 基于表面肌电图检查技术的脑卒中患者下肢肌肉痉挛的定量分析[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2017, 39(5):347—350.
- [11] Yeh CH, Young HW, Wang CY, et al. Quantifying spasticity with limited swinging cycles using pendulum test based on phase amplitude coupling[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2016, 24(10): 1081—1088.
- [12] 高业松. 表面肌电对脑卒中恢复期偏瘫患者下肢痉挛评定的临床应用研究[D]. 大连医科大学, 2015.
- [13] 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.
- [14] 梁明, 窦祖林, 苏崇钦,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—1307.
- [15] Naghdi S, Ansari NN, Abolhasani H, et al. Electrophysiological evaluation of the Modified Tardieu Scale (MTS) in assessing poststroke wrist flexor spasticity[J]. *Neuro Rehabilitation*, 2014, 34(1): 177—184.
- [16] Mottram CJ, Heckman CJ, Powers RK, et al. Disturbances of motor unit rate modulation are prevalent in muscles of spastic-parietic stroke survivors[J]. *J Neurophysiol*, 2014, 111(10): 2017—2028.
- [17] Liang M, Dou Z, Wen H, et al. Correlation between the changes of surface electromyographic signals of elbow flexor and extensor and motor function in stroke patients[J]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2014, 94(17): 1304—1308.
- [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]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2013, 23(2): 501—507.
- [19] Kallenberg LA, Hermens HJ. Motor unit properties of biceps brachii during dynamic contractions in chronic stroke patients[J]. *Muscle Nerve*, 2011, 43(1): 112—119.
- [20] Kuriki HU, Azevedo RN, Carvalho AC, et al. The surface electromyography analysis of the non-plegic upper limb of hemiplegic subjects[J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2010, 68(4): 562—566.
- [21] Jiang L, Dou ZL, Wen HM, et al. Relationship between the changes of surface electromyographic signal of thigh muscle and balance function in stroke patients[J]. *Zhonghua Yi*

- Xue Za Zhi, 2010, 90(13): 917—920.
- [22] Fleuren JF, Snoek GJ, Voerman GE, et al. Muscle activation patterns of knee flexors and extensors during passive and active movement of the spastic lower limb in chronic stroke patients [J]. J Electromyogr Kinesiol, 2009, 19(5): e301—310.
- [23] 王永慧, 郭丽华, 岳寿伟. 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.
- [24] 杨坚, 王凯泉, 张颖,等. 表面肌电在脑卒中肘关节痉挛评价中的意义[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2007, 29(6):389—391.
- [25] Ng SS, Hui-Chan CW. The timed up & go test: its reliability and association with lower-limb impairments and locomotor capacities in people with chronic stroke[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2005, 86(8): 1641—1647.
- [26] Gu WJ, Wang F, Tang L, et al. Single-dose etomidate does not increase mortality in patients with sepsis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials and observational studies[J]. Chest, 2015, 147(2):335—346.
- [27] Marateb HR, Farahi M, Rojas M, et al. Detection of multiple innervation zones from multi-channel surface EMG recordings with low signal-to-noise ratio using graph-cut segmentation[J]. Plos One, 2016, 11(12):1—23.
- [28] Pandyan AD, Gregoric M, Barnes MP, et al. Spasticity: clinical perceptions, neurological realities and meaningful measurement[J]. Disabil Rehabil, 2005, 27(1—2):2—6.
- [29] 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.
- [30] Voerman GE, Gregoric M, Hermens HJ. Neurophysiological methods for the assessment of spasticity: the Hoffmann reflex, the tendon reflex, and the stretch reflex[J]. Disabil Rehabil, 2004, 27(1-2):33—68.
- [31] 汪菲, 何晴, 李建华. 表面肌电在中枢神经系统疾病肌痉挛患者评价中的研究现状[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(11): 1277—1280.
- [32] Guo S, Pang M, Gao B, et al. Comparison of sEMG-based feature extraction and motion classification methods for upper-limb movement[J]. Sensors, 2015, 15(4):9022—9038.
- [33] Ming D, Wang X, Xu R, et al. sEMG feature analysis on forearm muscle fatigueduring isometric contractions[J]. Transactions of Tianjin University, 2014, 20(2): 139—143.
- [34] 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.
- [35] Chang SH, Francisco GE, Zhou P, et al. Spasticity, weakness, force variability and sustained spontaneous motor unit discharges of resting spastic-paretic biceps brachii muscles in chronic stroke[J]. Muscle Nerve, 2013, 48(1):85.
- [36] Onishi H, Yagi R, Akasaka K, et al. Relationship between EMG signals and force in human vastus lateralis muscle using multiple bipolar wire electrodes[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2000, 10(1):59.
- [37] Lee MY, Wong MK, Tang FT, et al. New quantitative and qualitative measures on functional mobility prediction for stroke patients[J]. J Med Eng Technol, 1998, 22(1):14—24.
- [38] Choi H. Quantitative assessment of co-contraction in cervical musculature[J]. Med Eng Phys, 2003, 25(2):133—140.
- [39] 燕铁斌, Hui-Chan WYC. 踝背伸和跖屈肌群的最大等长收缩:脑卒中急性期患者与同龄健康老人表面肌电图对照研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2003, 25(4):212—215.

(上接第959页)

- [14] Scane K, Alter D, Oh P, et al. Adherence to a cardiac rehabilitation home program model of care: A comparison to a well-established traditional on-site supervised program[J]. Appl Physiol Nutr Metab, 2012, 37(2): 206—213.
- [15] Dahhan A, Maddox WR, Krothapalli S, et al. Education of physicians and implementation of a formal referral system can improve cardiac rehabilitation referral and participation rates after percutaneous coronary intervention[J]. Heart Lung Circ, 2015, 24(8): 806—816.
- [16] Beatty AL, Bradley SM, Maynard C, et al. Referral to cardiac rehabilitation after percutaneous coronary intervention, coronary artery bypass surgery, and valve surgery: data from the clinical outcomes assessment program[J]. Circ Cardiovasc Qual Outcomes, 2017, 10(6):e003364.
- [17] Zwisler AD, Norton RJ, Dean SG, et al. Home-based cardiac rehabilitation for people with heart failure: a systematic review and meta-analysis[J]. Int J Cardiol, 2016, 221(2): 963—969.
- [18] Varnfield M, Karunanithi M, Lee CK, et al. Smartphone-based home care model improved use of cardiac rehabilitation in post myocardial infarction patients: results from a randomized controlled trial[J]. Heart, 2014, 100(22):1770—1779.