

·临床指南·

经颅磁刺激多模式评估技术应用规范

中国康复医学会脑功能检测与调控康复专业委员会,
中国康复医学会脑机接口与康复专业委员会

* 通信作者:单春雷,E-mail:shancel@shsmu.edu.cn

收稿日期:2025-07-12;接受日期:2025-08-25

基金项目:国家自然科学基金面上项目(82272612)

DOI:10.3724/SP.J.1329.2026.05001

摘要 在脑疾病康复过程中,基于经颅磁刺激(TMS)的神经电生理检测可无创、客观地评估患者,有助于探索脑功能障碍与康复机制。但由于缺乏统一的TMS规范操作标准,实践经验也不足,给临床医师、研究人员进行脑功能评估造成困难。《经颅磁刺激多模式评估技术应用规范》对TMS评估技术相关的术语和定义、基本要求、评估方法、评估流程、评估指标、注意事项、不良反应及应对措施进行规范。本标准有助于推动TMS多模式评估的临床规范性应用与管理,适用于指导医疗机构经培训合格的康复医师及治疗师对脑部疾病患者的功能障碍进行标准化评估。

关键词 经颅磁刺激;脑功能康复;神经电生理检测;功能评估;技术规范

1 引言

重大脑疾病造成的沉重负担是医疗界面临的重大挑战,而脑疾病康复是其中关键环节。以中国脑卒中现状为例,40岁以上患者约1 300万,每年新增约250万例。根据《中国脑卒中防治报告2018》推测,2030年中国脑血管病事件发生率将较20年前升高约50%,其中约2/3幸存者将伴有不同程度功能障碍。在脑疾病康复过程中,基于经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)的神经电生理检测可无创、客观地评估患者,有助于探索脑疾病功能障碍与康复机制^[1]。

本规范涉及单脉冲TMS(single-pulse TMS, spTMS)、成对脉冲TMS(paired-pulse TMS, ppTMS)和成对联合刺激(paired associative stimulation, PAS)等多种模式的TMS检查评估方法^[2]。

1.1 spTMS可评估的常见指标

① 运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)

的波幅与潜伏期;② 运动阈值(motor threshold, MT),包括静息运动阈值(resting motor threshold, RMT)和活动运动阈值(active motor threshold, AMT);③ 中枢运动传导时间(central motor conduction time, CMCT);④ 对侧皮质静息期(contralateral cortical silent period, cCSP)和同侧皮质静息期(ipsilateral cortical silent period, iCSP)等。

1.2 ppTMS可评估的常见指标

① 短间隔皮质内抑制(short-interval intracortical inhibition, SICI)、长间隔皮质内抑制(long-interval intracortical inhibition, LICI);② 短间隔皮质内易化(short-interval intracortical facilitation, SICF)、皮质内易化(intracortical facilitation, ICF);③ 半球间抑制(interhemispheric inhibition, IHI)、半球间易化(interhemispheric facilitation, IHF)等。

1.3 PAS可评估的常见指标

① 短潜伏期传入抑制(short latency afferent inhibition, SAI)^[3]、长潜伏期传入抑制(long latency

引用格式:中国康复医学会脑功能检测与调控康复专业委员会,中国康复医学会脑机接口与康复专业委员会. 经颅磁刺激多模式评估技术应用规范[J]. 康复学报, 2026, 36(5): 299-307, 311.

Brain Function Detection and Regulation Rehabilitation Committee of Chinese Association of Rehabilitation Medicine, Brain Computer Interface and Rehabilitation Committee of Chinese Association of Rehabilitation Medicine. Application specification of transcranial magnetic stimulation multimodal assessment technology [J]. Rehabil Med, 2026, 36(5): 299-307, 311.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2026.05001

©《康复学报》编辑部, 开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议

© Rehabilitation Medicine, OA under the CC BY-NC-ND 4.0

afferent inhibition, LAI)^[4]; ② 三重刺激技术(triple stimulation technique, TST)等。

尽管上述指标评估已被临床用于揭示神经环路特征或状态,但是临床实际进行相应指标检测时,缺乏统一的规范操作标准,实践经验相对欠缺,需花费大量时间优化参数;由于参数不统一,所得结果无法相互对比,也无法构建大数据。这些问题给临床医师、研究人员进行脑机制评估与探索等造成困难,亟需制订TMS多模式评估技术规范。

因此,本标准旨在进一步推动TMS多模式评估的临床规范性应用与管理,为实践操作提供参考和指导,帮助相关研究者与医务工作者有效地开展临床与科研工作。

2 范 围

本文件确立了涵盖中枢神经系统疾病的TMS多模式评估指标、评估要求、评估方法、操作流程、注意事项、不良反应及应对措施等内容。

本文件适用于指导医疗机构经培训合格的康复医师及治疗师对脑部疾病患者功能障碍进行标准化评估。

3 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改版)适用

于本文件。

GB 9706.1—2007 医用电气设备 第1部分:安全通用要求

YY/T 0994—2015 磁刺激设备

T/SRMA 5—2019 经颅磁刺激操作指南

4 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

4.1 TMS

TMS是利用时变的脉冲磁场作用于中枢神经系统(主要是大脑),通过改变皮质神经细胞的膜电位,使其产生感应电流,影响脑内代谢和神经活动,从而引起相应生理、生化反应的一种非侵入性神经调控技术^[5]。根据TMS刺激脉冲差异,可以将TMS分为spTMS、ppTMS和重复性TMS(repeated transcranial magnetic stimulation, rTMS)3种刺激模式。TMS常用的检测评估技术包括spTMS、ppTMS和PAS。rTMS主要用于疾病治疗。

4.2 spTMS

spTMS为每次输出单刺激脉冲,通常采用手持式操作,磁刺激触发开关设于线圈手柄,或采用脚踏式开关触发。spTMS可手动调节刺激强度与间隔时长,常用于常规电生理检查,模式示意图见图1。常见检测指标包括运动阈值(motor threshold, MT)、运动诱发电位(motor evoked potentials, MEP)、CMCT和皮质静息期(cortical silent period, CSP)^[6]。

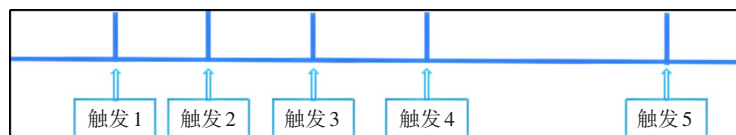


图1 spTMS示意图

Figure 1 Schematic diagram of spTMS

4.2.1 MEP MEP是一种无创检测技术,指spTMS作用于运动皮质在对侧靶肌肉记录到的肌肉运动复合电位。可以通过肌电图(electromyography, EMG)记录神经传导通路从运动皮质到靶肌肉信号传递的整体同步性和完整性。MEP可用于评估皮质脊髓束的完整性,作为TMS效应的量化,并可用于功能区绘图。见图2。

4.2.2 MEP潜伏期和MEP峰-峰幅值

4.2.2.1 MEP潜伏期 指自spTMS作用于初级运动皮质(primary motor cortex, M1)至外周记录到MEP

的时间,单位ms。见图3。

4.2.2.2 MEP峰-峰幅值 指自负相波波峰至正相波波峰的幅度,单位 μV 或mV,反映对TMS刺激产生反应的运动神经元数量,体现皮质及皮质-脊髓的兴奋水平。见图3。

4.2.3 MT 用于检测受试者的皮质脊髓兴奋性,包括静息运动阈值(resting motor threshold, RMT)和活动运动阈值(active motor threshold, AMT),以磁刺激仪最大输出强度的百分比表示。MT值取决于磁刺激仪的最大输出强度。

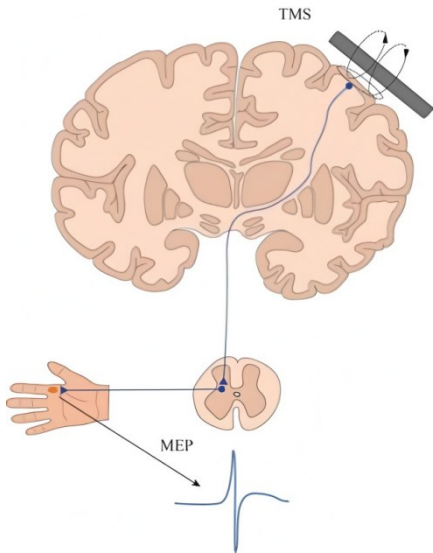


图2 TMS-MEP示意图

Figure 2 Schematic diagram of TMS-MEP

4.2.3.1 RMT 指在靶肌肉完全放松状态下,使用spTMS在靶肌肉M1的热点进行刺激,10次连续刺激中至少有5次诱发MEP波幅 $>50\mu\text{V}$ 所需的最小刺激强度。通常以磁刺激仪最大输出强度的百分比(%)表示。

4.2.3.2 AMT 指在靶肌肉保持20%最大等长收缩状态下,使用spTMS在靶肌肉M1的热点进行刺激,

10次连续刺激中至少有5次诱发出MEP波幅 $>200\mu\text{V}$ 所需要的最小刺激强度。通常以磁刺激仪最大输出强度的百分比表示,一般低于RMT。

4.2.4 CMCT 指MEP从脑皮质到脊髓前角运动神经元的传导时间。

4.2.5 CSP 指通过spTMS测量运动皮质抑制的指标,在目标肌肉强直收缩时施加TMS脉冲可诱发CSP^[7]。CSP包括cCSP与iCSP,分别代表皮质内抑制和经胼胝体抑制水平。

4.3 ppTMS

ppTMS是指在一个较短的刺激间隔(interstimulus interval, ISI)内每次成对(配对)输出2个脉冲刺激,以诱导皮质兴奋或抑制效应^[8-9]。

2个脉冲之间的间歇时间为0~250 ms,可调节,模式示意图见图4。2个脉冲可以通过1个刺激线圈输出,成对刺激同一部位;也可以分别通过2个刺激线圈输出,成对相继刺激2个不同的部位(double-coil TMS, dcTMS)。第1个刺激为条件刺激(conditioning stimulus, CS),第2个刺激为测试刺激(test stimulus, TS)。产生易化或抑制皮质的效应,取决于CS/TS的刺激强度和2个脉冲的ISI,多为毫秒(ms)级时间间隔。

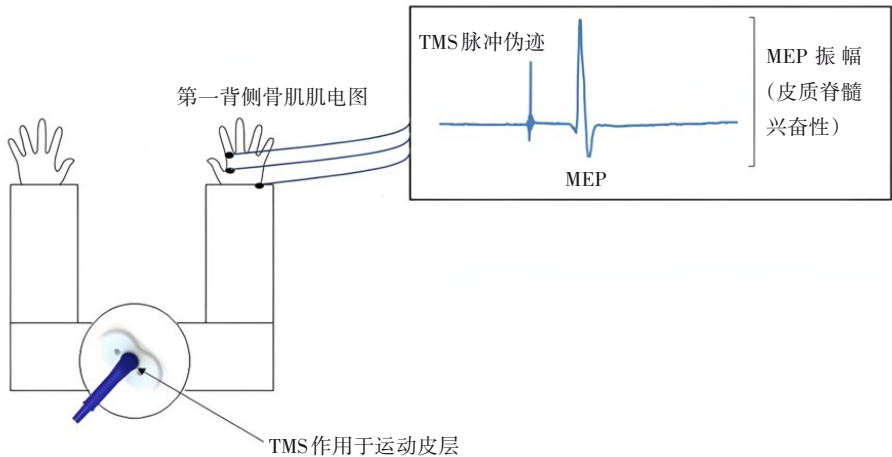


图3 MEP潜伏期和峰-峰幅值

Figure 3 MEP latent period and peak-to-peak MEP amplitude

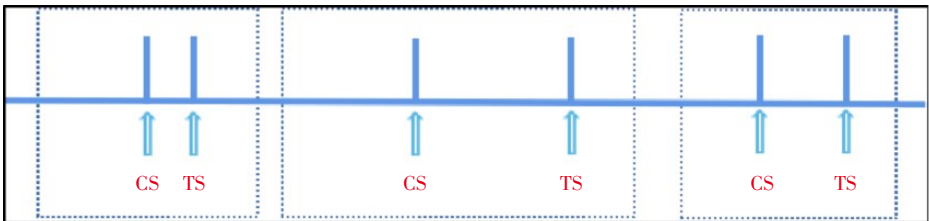


图4 成对脉冲刺激模式示意图

Figure 4 Schematic diagram of ppTMS

4.3.1 ICF ICF通过1个刺激线圈输出的ppTMS进行检测,在M1区先进行阈下CS后间隔8~30 ms给予阈上TS;TS诱发的MEP波幅较spTMS诱发的MEP波幅增加。

4.3.2 SICF SICF通过1个刺激线圈输出的ppTMS进行检测,在M1区先进行阈下CS,间隔在1.1~1.5、2.3~3.0、4.1~5.0 ms进行阈上TS,TS诱发的MEP波幅高于spTMS诱发的MEP波幅。

4.3.3 SICI SICI通过1个刺激线圈输出的ppTMS进行检测,在M1区先进行阈下CS,间隔1~6 ms施加阈上TS,TS诱发的MEP波幅较spTMS诱发者降低。

4.3.4 LICI LICI指通过1个刺激线圈输出的ppTMS进行检测,在M1区先进行阈上CS,间隔50~200 ms进行阈上TS,TS诱发的MEP波幅较spTMS诱发的MEP波幅显著降低。

4.3.5 IHI IHI指通过2个不同刺激线圈输出的ppTMS进行检测,阈上CS和TS分别作用于左右两侧M1区,脉冲间隔在6~50 ms时,TS诱发的MEP波幅较spTMS诱发的MEP波幅降低。

4.3.6 IHF IHF是一种皮质易化形式,通过双刺激线圈输出的ppTMS进行检测,阈上CS与TS分别施加于双侧M1区,脉冲间隔在4~6 ms时,TS诱发的MEP波幅低于spTMS诱发的MEP波幅。

4.4 PAS

PAS是ppTMS的一种特殊类型,可由1个对大脑皮质的TMS刺激与1个对周围神经的电刺激共同组成配对刺激;或使用双线圈(dcTMS/tcTMS)刺激大脑不同区域形成皮质-皮质联合刺激(cortico-cortical paired associative stimulation, ccPAS)^[10]。

4.4.1 SAI SAI在M1区进行TS-TMS前,N20潜伏期+(2~8) ms(也有报道ISI为19~50 ms)应用电刺激在对侧正中神经或食指施加电流干预;CS强度设置为可诱发靶肌肉可见反应的最小强度。TS强度设置为诱发对侧靶肌肉反应为MEP峰-峰幅值达1 mV的强度。在CS后TS诱发的MEP波幅较spTMS时降低,表明感觉传入刺激对TMS诱发MEP有抑制作用。

4.4.2 LAI LAI在M1区进行TS-TMS前,N20潜伏期+(100~300) ms(也有报道ISI为200~1 000 ms)在对侧正中神经或食指应用电刺激施加电流干预,CS强度设置为能够诱发靶肌肉可见反应的最小强度。TS的刺激强度为spTMS诱发对侧靶肌肉MEP峰-峰幅值为1 mV的强度。在CS后TS诱发的MEP

波幅较spTMS降低,表明感觉传入刺激对TMS诱发MEP有抑制作用。

4.5 TST

TST是MEP的一项改进技术,利用TMS与外周电刺激的对冲技术将TMS诱发的脊髓运动神经元放电同步化,测定TMS兴奋脊髓运动神经元的百分比,定量评估中枢传导功能的完整性^[11]。

TST基于上肢上行性和下行性神经冲动对冲的原理。以鱼际肌记录为例,TST需要先施加1个阈上强度的TMS脉冲,然后在腕部施加超强电刺激,最后在欧勃士点(Erb's point)施加超强电刺激。3个刺激必须在适当的时间出现。腕部的电刺激应该在TMS后10~12 ms内施加,这样腕部产生的逆行性神经冲动能够与TMS在运动轴突中产生的所有下行性神经冲动发生对冲。Erb点电刺激应在腕部刺激后8~10 ms内施加,以便使产生的下行性神经冲动与正中神经中可能剩余的逆行性神经冲动发生对冲。这种对冲的组合能够产生复合肌肉动作电位(compound muscle action potential, CMAP),在Erb's点超强刺激之后,可在鱼际肌上记录到,其形状和波幅与仅Erb点刺激引出的对照动作电位相似。TMS后运动皮质输出减少将导致与腕部刺激产生的逆行性神经冲动不完全对冲。剩余逆行输入将与Erb点刺激产生的传出神经冲动对冲,降低鱼际肌记录的动作电位波幅。

4.6 刺激线圈

刺激线圈作为TMS设备中的核心输出部件,通过短时快速充放电产生时变磁场,可直接作用于人体靶向治疗部位。常见类型包括“8”字形线圈、圆形、双锥形及H形线圈等。

4.7 刺激强度

刺激强度为TMS刺激线圈产生的磁感应强度,单位为特斯拉(T)。实际应用中常以TMS刺激仪最大输出强度百分比(%)表示。

4.8 最佳刺激点

TMS能诱发靶肌肉最大且最稳定MEPs波幅的位置。

5 基本要求

5.1 设备要求

TMS评估使用的设备应满足YY/T 0994—2015中第4章的相关要求。

5.2 人员资格要求

具有相关学科从业资格、接受过TMS仪器操作培训并考核合格的医师和治疗师,且治疗师应在有资质的医师监督下进行操作。

5.3 检测室环境

5.3.1 设备电源 应符合GB 9706.1—2007中“10.2.2”的相关要求。

5.3.2 设备温度保护 应符合GB 9706.1—2007中第42章的相关要求。

5.3.3 检测室面积 不应 $\leq 20\text{ m}^2$ 。

5.3.4 检测仪周围环境 每个TMS检测仪宜配备1张木质治疗床或治疗椅,在TMS设备周边2 m范围内,不宜放置和使用其他医疗电子设备。

5.3.5 线圈周围环境 线圈10 cm范围内,不应有金属物(口腔除外)或电子设备,包括:①检测部位10 cm内有金属异物存在,如人工耳蜗、内置脉冲发生器、动脉瘤夹、支架等;②子弹碎片;③金属支架;④手机、信用卡、计算器等电磁物品;⑤各类金属首饰、手表和眼镜等。

5.3.6 其他注意事项 ①妊娠者应远离线圈至少0.7 m;②评估室内所有人员均宜佩戴耳塞。

6 评估方法

6.1 spTMS

6.1.1 RMT 肌肉放松状态下,连续10次单脉冲TMS刺激引起至少5次MEP峰-峰幅值 $\geq 50\text{ }\mu\text{V}$ 的MEP所需的最小刺激强度(用TMS机器强度的百分比表示)。

6.1.2 AMT 肌肉轻度收缩(20%最大等长收缩)状态下,连续10次TMS刺激引起至少5次MEP峰-峰值 $\geq 200\text{ }\mu\text{V}$ 时的最小刺激强度(以TMS设备输出强度的百分比表示)。

6.1.3 MEP 阈上TMS导致上运动神经元的一连串激活,继而导致脊髓前角 α 运动神经元被激活,并由表面或针式肌电图在靶肌肉记录到的电位。

6.1.4 CMCT 指TMS的诱发信号从运动皮质沿皮质脊髓束至(支配上、下肢)脊髓前角运动神经元的传导时间。

6.1.5 CSP 阈上TMS刺激一侧皮质,对侧上肢等张收缩靶肌肉电活动短暂抑制时间^[12]。

6.1.6 同侧静息期 同侧静息期(ilic silent period, ISP)是指阈值经颅磁刺激(TMS)一侧皮质,使同侧上肢处于等张收缩状态的靶肌肌电活动短暂抑制

的持续时间。

6.2 ppTMS

6.2.1 SICI 先给予阈下条件刺激(conditioning stimulation, CS),间隔1~6 ms给予阈上测试刺激(test stimulation, TS),MEP较spTMS诱发的波幅降低^[13]。

6.2.2 LICI 先给予阈上CS,间隔50~200 ms给予阈上TS,MEP较spTMS诱发的波幅降低。

6.2.3 SICF 先给予阈上CS,间隔1.1~1.5 ms或2.3~3.0 ms或4.1~5.0 ms,给予阈下TS,MEP较spTMS诱发的波幅升高。

6.2.4 ICF 先给予阈下CS,间隔8~30 ms给予阈上TS,MEP较spTMS诱发的波幅升高。

6.2.5 IHI 2个刺激线圈先阈上CS刺激一侧半球M1,间隔6~50 ms,再阈上TS刺激对侧半球M1,MEP较spTMS诱发的波幅降低。

6.2.6 IHF 2个刺激线圈,先阈上CS刺激一侧半球M1,间隔4~6 ms,再阈上TS刺激对侧半球M1,MEP较spTMS诱发的波幅降低。

6.3 PAS

6.3.1 SAI TMS刺激前N20潜伏期+(2~8) ms(也有报道ISI为19~50 ms),阈上电刺激腕部正中神经或食指(CS),可降低运动皮质兴奋性,降低TMS(TS)诱发的MEPs波幅^[14]。见图5。

6.3.2 LAI TMS刺激前N20潜伏期+(100~300) ms(也有报道ISI为200~1 000 ms)阈上电刺激腕部正中神经或食指(CS),可降低运动皮质兴奋性,降低TMS(TS)诱发的MEPs波幅^[15]。见图5。

7 评估流程

7.1 治疗前准备

受试者佩戴磁刺激定位帽坐在有扶手的靠背椅上,自然放松。

7.2 线圈设置

将“8”字形线圈中心置于受试者一侧M1区施加刺激,线圈与头皮保持相切并紧密接触,线圈手柄轴线与受试者正中线呈45°夹角,若使用圆形线圈,则线圈手柄方向朝向正后方。

7.3 电极设置

利用表面电极记录对侧靶肌肉(上肢通常为拇短展肌或第一骨间背侧肌等,下肢通常为胫前肌等)MEP,记录电极置于肌腹,参考电极置于肌腱处。

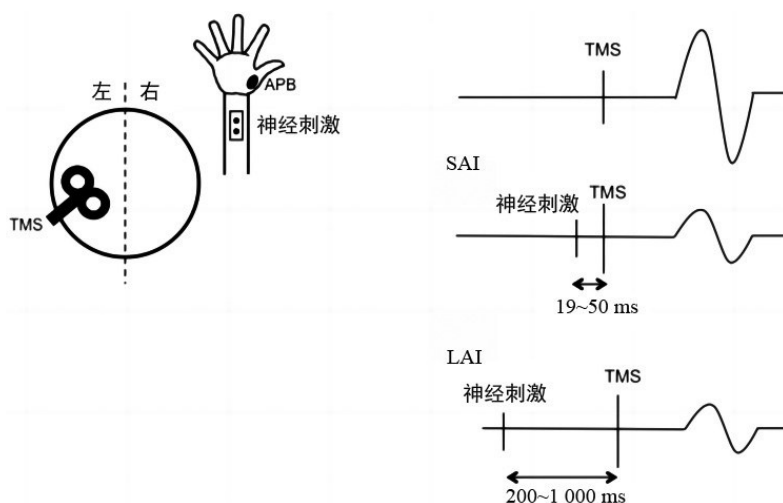


图5 TMS检测SAI/LAI示意图

Figure 5 Schematic diagram of SAI/LAI detected by TMS

7.4 TMS刺激

手动触发单脉冲TMS,每次以约0.5 cm距离轻微移动线圈,并轻微调整线圈手柄角度和切面,以阈上强度刺激寻找运动热点,同一阈上强度连续刺激下能诱发出最大且最稳定MEP幅度的位置可确定为运动热点。

7.5 评估指标

主要评估指标包括RMT、AMT、CMCT、CSP、ISP、SICI、ICF、LICI、SICF、IHI、IHF、SAI和LAI^[16-18]。

7.5.1 RMT 肌肉处于静息状态时,在运动热点区域降低刺激强度至10次刺激中至少有5次诱发的MEPs波幅 $\geq 50 \mu V$,该刺激强度(以TMS设备输出强度的百分比表示)即为RMT,并记录MEPs波形。在无肌电设备记录情况下,通过目测TMS诱发靶肌肉抽动进行判断。

7.5.2 AMT 执行拇指食指捏合动作(下肢执行踝背屈动作),使用测力计记录最大收缩力。随后计算20%最大等长收缩力,并指导受试者控制肌肉维持在20%最大等长收缩的轻微收缩状态,连续10次TMS刺激诱发至少5次峰-峰幅值 $> 200 \mu V$ MEPs的刺激强度。

7.5.3 CMCT 刺激颈部神经根,即刺激C₇~T₁椎间孔神经根处(下肢为L₄椎间孔神经根处)通过刺激皮质的MEP潜伏期减去刺激神经根处的周围性MEP潜伏期可以获得近似CMCT;或者以重复超强电刺激肘部正中神经或尺神经(下肢为腓窝胫神经或腓总神经),在所支配的远端肌记录动作电位,在每一次刺激中,早期成分(M波)后出现一个晚期成分F波。F波与M波潜伏期差值,代表了由刺激点至

脊髓并返回至刺激点的时间,1 ms为神经细胞传递时间,除以2即为外周运动传导时间(peripheral motor conduction time, PMCT)。

$$PMCT = (F \text{ 潜伏期} - M \text{ 潜伏期} - 1) / 2$$

$$CMCT = \text{刺激皮质的MEPs潜伏期} - PMCT$$

7.5.4 CSP和ISP 对处于轻度收缩(20%最大等长收缩)的靶肌进行连续肌电图描记,给予单次110%~120% MT阈上TMS刺激对侧皮质,在靶肌引出MEPs后的一段时间内,肌电活动出现短暂静息,测量值为MEP受抑制开始至肌电信号再次出现的时间,即为CSP。单次TMS刺激诱导同侧靶肌在等长收缩状态下的肌电活动出现短暂静息的时间,即为ISP。

7.5.5 SICI、ICF、LICI和SICF 先记录120% RMT的MEPs为对照MEPs(control-MEPs, cMEPs)。成对刺激的第1个刺激(S1)为80%~90% RMT刺激量的阈下CS,成对刺激的第2个刺激(S2)为120% RMT的阈上TS,当2个刺激间隔(interstimulus interval, ISI)为1~6 ms时,则TS诱发的MEPs(Test-MEPs)波幅和Test-MEPs与cMEPs比值的百分比会降低,即为SICI。ICF评估步骤与SICI相同,不同之处仅在于ISI为8~30 ms;LICI评估步骤与SICI相同,但其S1为120% RMT的阈上CS,S2为120% RMT的阈上TS,ISI为50~200 ms;SICF评估步骤与SICI相同,但其S1为120% RMT的阈上CS,S2为80%~90% RMT的阈下TS,ISI分别为1.1~1.5、2.3~3.0和4.1~5.0 ms。

7.5.6 IHI和IHF 先单独记录阈上刺激引起的MEPs。先后刺激一侧皮质(CS)、另一侧皮质(TS),ISI为6~50 ms时,TS在对侧上肢静息靶肌诱发的

MEPs波幅比spTMS诱发的降低。IHF评估步骤与IHI相同,ISI为4~6 ms,TS在对侧上肢静息靶肌诱发的MEPs波幅比单独spTMS诱发的MEPs升高。

7.5.7 SAI和LAI 在TS刺激M1区前N20潜伏期+(2~8) ms(也有报道ISI为19~50 ms)应用电刺激在对侧正中神经或食指施加电流干预,CS强度设置为能够诱发靶肌肉可见反应的最小强度。TS的刺激强度为spTMS诱发对侧靶肌肉MEP峰-峰幅值为1 mV的强度。记录CS后TS诱发的MEPs。LAI评估步骤同SAI,但CS与TS的时间间隔约为N20潜伏期+(100~300) ms(也有报道ISI为200~1 000 ms)。SAI和LAI常用CS后TS诱发的MEP与spTMS-MEP的比值表示。比值越低,表示传入性抑制越强。

8 注意事项

8.1 禁忌证

8.1.1 绝对禁忌证 下述情况不应进行TMS评估操作:①评估部位30 cm内有金属异物存在,如人工耳蜗、内置脉冲发生器、动脉瘤夹、支架等;②颅内高压、颅内感染;③严重心血管疾病,尤其是心脏起搏器、心脏支架植入者^[19]。

8.1.2 相对禁忌证 以下情况实施TMS评估存在的风险,检测前需结合病情权衡利弊:①癫痫病史或脑电图显示癫痫样改变者禁用高强度刺激;②严重脑出血、外伤、肿瘤或感染等癫痫诱发疾病;③急性大面积脑梗死或颅内多发动脉瘤;④严重心脏病史或近期心脏病发作;⑤服用可能降低癫痫阈值药物;⑥既往或当前使用电休克疗法或迷走神经刺激;⑦睡眠剥夺或乙醇依赖;⑧青光眼或视网膜脱落;⑨孕妇;⑩儿童(感冒发热时禁用)^[19]。

8.2 操作人员注意事项

8.2.1 评估前注意事项 核对患者姓名、病房、床号或就诊号等基本信息,评估患者躯体状况。门诊患者需填写安全告知评估单。

8.2.2 评估注意事项 选择并调整刺激线圈在头颅表面的刺激部位、方向与角度,在确定最佳刺激点后,保持刺激线圈与患者头部的相对位置不变。

8.2.3 操作注意事项 操作人员需注意在设备使用周期内潜在故障,如线圈或外壳裂缝、绝缘损伤、声响异常、烟雾或异常气味,在这种情况下,须立即停用该设备并由专业人员检修。此外,操作时需佩戴听力防护设备。

9 不良反应及应对措施

9.1 不良反应

可能出现下列不良反应:①头痛、颈部及面部疼痛;②耳鸣;③暂时性听力下降;④癫痫发作;⑤面部或肢体抽动等;⑥牙痛;⑦晕厥;⑧情绪变化。

9.2 不良反应的应对措施

9.2.1 抽搐、意识丧失、晕厥或其他紧急情况 在TMS评估过程中,如果出现抽搐、意识丧失、晕厥或其他紧急情况,立即按照以下措施进行急救处理:①立即停止评估;②确保患者气道通畅;③持续监测生命体征;④心脏停搏或呼吸暂停者,立即进行心肺复苏;⑤评估意识状态;⑥通知患者家属,告知病情及处理措施。

9.2.2 耳鸣、听力下降 在TMS评估过程中,如出现耳鸣或听力下降,立即按照以下措施进行处理:①患者、受试者及操作员使用经批准的合适听力保护装置(耳塞或耳罩);②对TMS评估或干预后出现听力损失、耳鸣或耳闷者进行听觉评估;③对于TMS评估前已存在噪声引起的听力损失或同时使用耳毒性药物(氨基糖苷类、顺铂)的患者,须在评估风险/收益比后方可进行TMS;④若使用新研发刺激线圈,须立即停止评估,并记录其声音输出强度,并依此进行听力安全研究。

9.2.3 头痛、面部疼痛、颈部不适 在TMS评估操作中,如果出现头痛、面部疼痛、颈部不适,立即按照以下措施进行处理:①立即停止TMS评估,疼痛通常可缓解,若疼痛持续时间较长或较剧烈,建议服用单次剂量的对乙酰氨基酚或阿司匹林;②调整患者头部位置,选择舒适体位,尽量减少线圈对头部的压力;③调整TMS刺激强度与时间;④立即停止TMS评估,休息后缓解者可继续评估,若连续2次出现不耐受,立即停止评估,改用其他方法。

9.2.4 牙痛 在TMS评估过程中,如果出现牙痛,立即按照以下措施进行处理:停止评估,休息后缓解者无需特殊处理,未缓解者建议其前往口腔科就诊。

9.2.5 情绪改变 在TMS评估过程中,如果出现情绪变化,立即按照以下措施进行处理:终止评估,严密监测受试者直到功能恢复,必要时实施神经系统全面检查。

紧急情况处理完毕后,详细记录症状程度、出

现时间、持续时间及处理措施;分析原因并评估其相关性。

10 主要指标的生理意义

10.1 MEP

主要用于评估皮质脊髓束的完整性;可作为TMS效应的量化指标并用于功能区定位^[20]。

10.2 MEP潜伏期

神经轴索中快速传导纤维到达肌肉的时间,持续时间反映单个肌纤维能否在同一时间内同步放电,可用于估算中枢和脊髓和外周神经中的传导时间,潜伏期参考范围:(23.4±2.1) ms。反映刺激部位与外周靶肌之间的突触数量及白质纤维束完整性,如突触直径与髓鞘厚度。

10.3 RMT

反映皮质脊髓谷氨酸能(Glu)运动神经元兴奋性以及初级皮质-皮质纤维连接性。

10.4 AMT

与皮质脊髓束快传导神经元诱导的下行冲动相关,收缩过程中,皮质脊髓神经元和脊髓运动神经元接近放电阈值时,I波易化,MEP波幅增加,潜伏期缩短。

10.5 CMCT

指TMS的诱发信号从运动皮质沿皮质脊髓束至(支配上下肢的)脊髓运动神经元的时间,反映下行运动通路(中枢段)的病理及发展过程,可用于评估皮质脊髓束传导功能的损伤程度与保留情况。参考范围:(7.2±1.4) ms。

10.6 CSP

包括cCSP和iCSP。①cCSP代表皮质内抑制性的活动,即GABA_B受体的状态,参考范围:150~300 ms。②iCSP反映以谷氨酸神经环路引起对侧半球神经环路经胼胝体的抑制水平,参考范围:(24.49±7.62) ms,能够反映胼胝体的病变,如胼胝体联合病变,则静息期延长或消失。

10.7 ICF

可能由兴奋性神经递质N-甲基-D-天冬氨酸受体(N-methyl-D-aspartate receptor, NMDAR)介导的皮质内易化。通常以阈下CS,以间隔8~30 ms给予阈上TS,TS-MEP波幅与spTMS-MEP波幅表示。参考范围:1.5~2.1,比值减小表明皮质内易化降低,比值增大则表明皮质内易化升高。

10.8 SICF

可能与抑制性神经递质GABA_B介导的突触前

抑制有关。

10.9 SICI

评估抑制性神经递质GABA_A介导的长时程皮质抑制,评估抑制回路的兴奋性,SICI的变化应反映皮质运动兴奋性的变化。通常以ppTMS的TS-MEP波幅与spTMS-MEP波幅的比值表示,参考范围:0.4~0.6。比值降低提示皮质内抑制性神经元的活性增强,比值增高提示皮质内抑制性神经元的活性降低。

10.10 LICI

可评价GABA_B受体介导的长时程皮质抑制。通常以ppTMS的TS-MEP波幅/spTMS-MEP波幅表示,比值减小提示皮质内抑制增强,比值升高提示皮质内抑制降低。

10.11 IHI

评价2个同源运动皮质(主要为胼胝体)连接功能的完整性。与跨皮质的谷氨酸神经元兴奋对侧M1的GABA_B抑制性中间神经元有关。

10.12 IHF

可评价2个同源运动皮质(主要为胼胝体)连接功能的完整性。

10.13 SAI、LAI

SAI、LAI是测量由胆碱能神经元传递介导的感觉运动皮质抑制回路的方法,该回路被认为主要依赖于皮质和皮质下胆碱能系统的胆碱能活动。

本标准主要起草人(排名不分先后):

单春雷(上海交通大学医学院源申康复研究院、上海交通大学医学院附属同仁医院)、兰月(华南理工大学附属第二医院/广州市第一人民医院)、胡瑞萍(复旦大学附属华山医院)、郑重(四川大学华西医院)、沈滢(南京医科大学第一附属医院/江苏省人民医院)、许东升(上海中医药大学中医智能康复教育部工程研究中心)、李源莉(上海中医药大学中医智能康复教育部工程研究中心)、史啸龙(上海中医药大学中医智能康复教育部工程研究中心)、陈茜茜(上海中医药大学中医智能康复教育部工程研究中心)、何晓阔(厦门市第五医院)、华续赞(上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院)、郑谋雄(上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院)、张思聪(上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院)、吴佳佳(上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院)、林万隆(上海市第三康复医院)、陈松美(上海市第三康复医院)、孙秀丽(上海市第二康复医院)、

席艳玲(上海市浦东新区光明中医医院)、倪隽(福建医科大学第一附属医院)、陈文莉(东南大学附属中大医院)、段周瑛(上海交通大学附属第一人民医院)、任彩丽(无锡同仁康复医院)、汪文静(上海中医药大学附属第七人民医院)。

参考文献

- [1] VALLS-SOLE J. Transcranial magnetic stimulation (TMS) clinical applications: diagnostics//ROTENBERG A, HORVATH J C, PASCUAL-LEONE A. Transcranial magnetic Stimulation [M]. New York, NY: Springer New York, 2014: 259-292.
- [2] ROSSINI P M, BURKE D, CHEN R, et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an I.F.C.N. Committee [J]. Clin Neurophysiol, 2015, 126(6): 1071-1107.
- [3] ASMUSSEN M J, JACOBS M F, LEE K G H, et al. Short-latency afferent inhibition modulation during finger movement [J]. PLoS One, 2013, 8(4): e60496.
- [4] TURCO C V, EL-SAYES J, SAVOIE M J, et al. Short- and long-latency afferent inhibition: uses, mechanisms and influencing factors [J]. Brain Stimul, 2018, 11(1): 59-74.
- [5] BARKER A T, JALINOUS R, FREESTON I L. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex [J]. Lancet, 1985, 325(8437): 1106-1107.
- [6] SIEBNER H, ROTHWELL J. Transcranial magnetic stimulation: new insights into representational cortical plasticity [J]. Exp Brain Res, 2003, 148(1): 1-16.
- [7] PROUT A J, EISEN A A. The cortical silent period and amyotrophic lateral sclerosis [J]. Muscle Nerve, 1994, 17(2): 217-223.
- [8] DAVIS M, WANG Y Y, BAO S C, et al. The interactions between primary somatosensory and motor cortex during human grasping behaviors [J]. Neuroscience, 2022, 485: 1-11.
- [9] KUJIRAI T, CARAMIA M D, ROTHWELL J C, et al. Corticocortical inhibition in human motor cortex [J]. J Physiol, 1993, 471(1): 501-519.
- [10] STEFAN K, KUNESCH E, COHEN L G, et al. Induction of plasticity in the human motor cortex by paired associative stimulation [J]. Brain, 2000, 123(3): 572-584.
- [11] WANG Y, WANG H, CUI LY. Triple stimulation technique in amyotrophic lateral sclerosis [J]. J Clin Neurophysiol, 2019, 36(2): 87-92.
- [12] GERLOFF C, COHEN L G, FLOETER M K, et al. Inhibitory influence of the ipsilateral motor cortex on responses to stimulation of the human cortex and pyramidal tract [J]. J Physiol, 1998, 510(1): 249-259.
- [13] DASKALAKIS Z J, FARZAN F, BARR M S, et al. Long-interval cortical inhibition from the dorsolateral prefrontal cortex: a TMS-EEG study [J]. Neuropsychopharmacology, 2008, 33(12): 2860-2869.
- [14] TOKIMURA H, DI LAZZARO V, TOKIMURA Y, et al. Short latency inhibition of human hand motor cortex by somatosensory input from the hand [J]. J Physiol, 2000, 523(2): 503-513.
- [15] CHEN R, CORWELL B, HALLETT M. Modulation of motor cortex excitability by median nerve and digit stimulation [J]. Exp Brain Res, 1999, 129(1): 77-86.
- [16] ROTHWELL J C. Techniques and mechanisms of action of transcranial stimulation of the human motor cortex [J]. J Neurosci Meth, 1997, 74(2): 113-122.
- [17] SANKARASUBRAMANIAN V, ROELLE S M, BONNETT C E, et al. Reproducibility of transcranial magnetic stimulation metrics in the study of proximal upper limb muscles [J]. J Electromyogr Kinesiol, 2015, 25(5): 754-764.
- [18] GROPPA S, OLIVIERO A, EISEN A, et al. A practical guide to diagnostic transcranial magnetic stimulation: report of an IFCN committee [J]. Clin Neurophysiol, 2012, 123(5): 858-882.
- [19] ROSSI S, ANTAL A, BESTMANN S, et al. Safety and recommendations for TMS use in healthy subjects and patient populations, with updates on training, ethical and regulatory issues: expert guidelines [J]. Clin Neurophysiol, 2021, 132(1): 269-306.
- [20] ROTENBERG A, HORVATH J C, PASCUAL-LEONE A. 经颅磁刺激[M]. 刘浩, 沈滢, 卫小梅, 译. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2022: 50.

ROTENBERG A, HORVATH J C, PASCUAL-LEONE A. Transcranial magnetic stimulation [M]. LIU H, SHEN Y, WEI X M, transl. Nanjing: Jiangsu Phoenix Science and Technology Press, 2022: 50.

(下转第 311 页)