

ICS 11.020

CCS G 01

中国康复医学会团体标准

T/CARM010—2023

经颅磁刺激多模式评估技术应用规范

The application specification of transcranial magnetic stimulation's multi-mode
evaluation technique

2023-11-28 发布

2023-11-28 实施

中国康复医学会 发布

全国团体标准信息平台

目 次

前言.....	II
引言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基本要求.....	5
4.1 设备要求.....	5
4.2 人员资格要求.....	5
4.3 治疗室环境.....	5
5 评估方法.....	6
5.1 单脉冲经颅磁刺激.....	6
5.2 成对脉冲经颅磁刺激.....	6
5.3 成对联合刺激.....	6
6 评估流程.....	7
7 注意事项.....	8
7.1 禁忌证.....	8
7.2 操作人员注意事项.....	9
8 不良反应及应对措施.....	9
8.1 不良反应.....	9
8.2 不良反应的应对措施.....	9
9 主要指标的生理意义.....	10
参考文献.....	12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国康复医学会提出并归口。

本文件起草单位：上海交通大学医学院康复研究院/上海交通大学医学院附属同仁医院、上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院、上海中医药大学中医智能康复教育部工程研究中心/上海中医药大学附属第七人民医院、华南理工大学附属第二医院 / 广州市第一人民医院、四川大学华西医院、厦门市第五医院、南京医科大学第一附属医院/江苏省人民医院、复旦大学附属华山医院、上海市第三康复医院、上海市第二康复医院、上海交通大学附属第一人民医院、福建医科大学第一附属医院、东南大学附属中大医院、新疆医科大学第一附属医院、无锡同仁康复医院。

本文件主要起草人：单春雷、兰月、胡瑞萍、郑重、沈滢、许东升、何晓阔、华续赟、郑谋雄、李源莉、张思聪、吴佳佳、林万隆、孙秀丽、段周瑛、倪隽、陈文莉、席艳玲、任彩丽、史啸龙、陈松美、陈茜茜、汪文静。

引 言

重大脑疾病所带来的沉重负担是医疗界所面临的巨大挑战，而脑疾病的康复更是其中至关重要的一环。以中国脑卒中的疾病现状为例，40岁以上的患者1300余万，每年新增患者约250万。有学者预测2030年中国脑血管病事件的发生率将比20年前升高约50%，其中大约三分之二的幸存者将伴有不同程度的功能障碍。在脑疾病的康复过程中，使用经颅磁刺激（transcranial magnetic stimulation, TMS）进行神经电生理学的检测，无创且可对患者进行客观评估，有助于探索各种脑疾病功能障碍及脑康复机制。

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。spTMS可评估的常见指标包括：①运动诱发电位（motor evoked potential, MEP）：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。ppTMS可评估的常见指标包括：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。PAS可评估的常见指标包括：①短潜伏期传入抑制（short latency afferent inhibition, SAI）、长潜伏期传入抑制（long latency afferent inhibition, LAI）；②三重刺激技术（triple stimulation technique, TST）等。

尽管上述指标评估已被临床中用作揭示神经环路特征或状态的电生理指标，然而实际临床中仅应用了部分指标，并且在进行相应指标检测时，缺乏一定的规范操作标准和实践经验，需花费大量时间摸索参数，所得结果由于参数不统一无法相互对比，也无法进一步形成大数据。以上存在的问题给临床医师、研究人员对于脑机制的客观评估及探索等均带来了一定困难。因此，亟须制定TMS多模式评估技术的应用规范。

因此，本文件制定旨在进一步推动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，以及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。

经颅磁刺激多模式评估技术应用规范

1 范围

本文件确立了针对中枢神经系统疾病的 TMS 多模式评估指标、评估基本要求、评估方法和操作流程、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标准化评估实施过程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

经颅磁刺激 **transcranial magnetic stimulation; 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神经调控技术。

注：根据TMS刺激脉冲不同，可以将TMS分为三种刺激模式：单脉冲TMS（spTMS）、双脉冲TMS（ppTMS）以及重复性TMS（rTMS）。TMS常用的检测评估技术包括：spTMS、ppTMS、PAS。rTMS多用于疾病治疗。

3.2

单脉冲经颅磁刺激 **single-pulse TMS; spTMS**

是指每次输出一个刺激脉冲，一般为手持式操作，磁刺激触发开关位于线圈手柄上，也有脚踏式开关触发。

注：可以手动调节刺激强度和间隔时长，多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：MT、MEP、CMCT和CSP等。

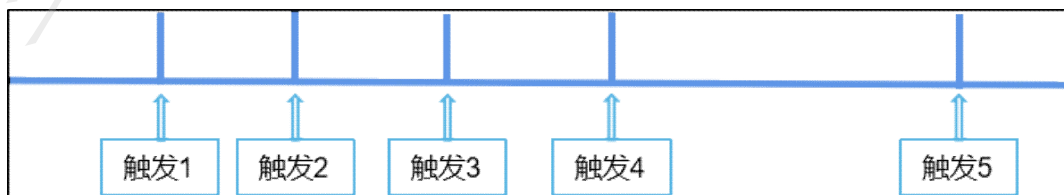


图1 单脉冲刺激模式示意图

3.2.1

运动诱发电位 motor evoked potential; MEP

是一种无创伤性的检测手段，是指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。

注：检查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，可以通过肌电图（electromyography, EMG）记录。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，示意图见图2。

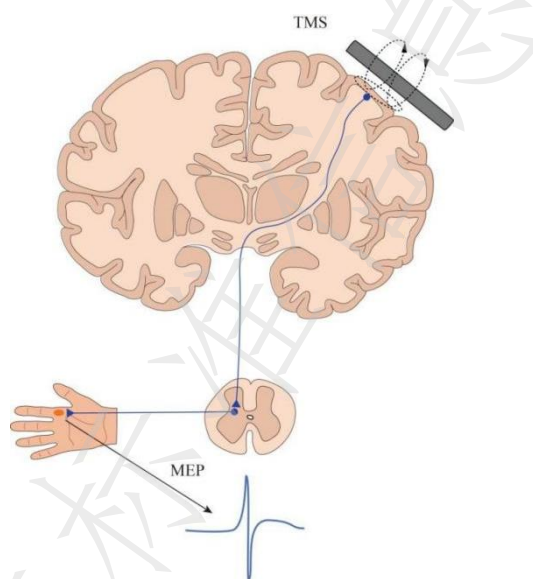


图2 TMS-MEP 示意图

3.2.2

MEP 潜伏期 latent period

指自spTMS作用于初级运动皮质（M1）开始到外周记录到MEP所用的时间，单位为毫秒（ms）。

注：示意图见图3。

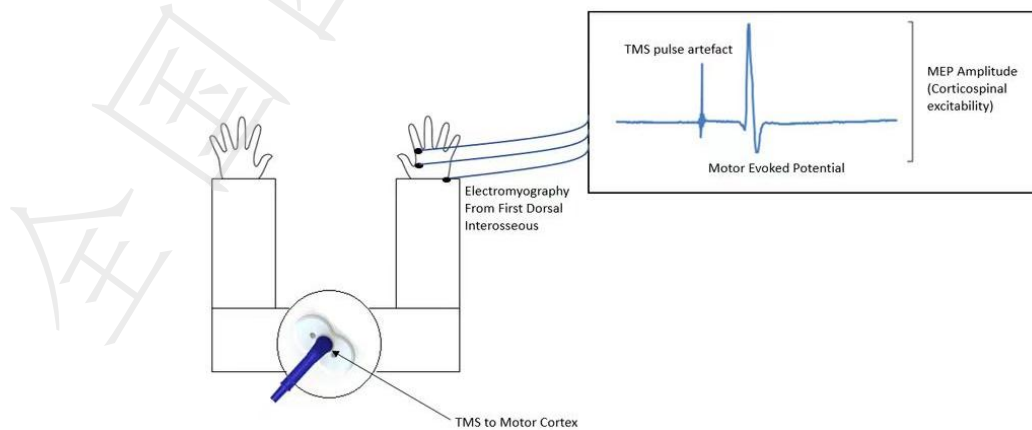


图3 MEP 潜伏期、峰-峰幅值

3.2.3

MEP 峰-峰幅值 peak-to-peak MEP amplitude

指自负相波波峰到正相波波峰的幅度，单位为微伏（ μV ）或毫伏（ mV ），反映对TMS刺激进行反应的运动神经元的数量，体现皮质以及皮质—脊髓的兴奋水平。

注：示意图见图3。

3.2.4

运动阈值 motor threshold; MT

用于检测受试者皮质脊髓兴奋性，包括：静息运动阈值（RMT）、活动运动阈值（AMT），以磁刺激仪最大输出强度的百分比表示。

注：MT的值取决于磁刺激仪的最大输出强度

3.2.4.1

静息运动阈值 resting motor threshold; 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波幅大于 $50\mu\text{V}$ 时所需的最小刺激强度。

注：通常以磁刺激仪最大输出强度的百分比表示。

3.2.4.2

活动运动阈值 active motor threshold; AMT

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波幅大于 $200\mu\text{V}$ 所需要的最小刺激强度。

注：通常以磁刺激仪最大输出强度的百分比表示，一般低于RMT。

3.2.5

中枢运动传导时间 central motor conduction time; CMCT

MEP从脑皮质到脊髓前角运动神经元的传导时间。

3.2.6

皮质静息期 cortical silent period; CSP

指一种通过spTMS测量运动皮质抑制的指标，在目标肌肉强直性收缩时施加TMS脉冲会产生CSP。

注：包括cCSP和iCSP，分别代表皮质内抑制和经胼胝体抑制水平。

3.3

成对脉冲经颅磁刺激 paired-pulse TMS; ppTMS

ppTMS是在一个较短的刺激间隔（interstimulus interval, ISI）每次成对（配对）输出两个脉冲刺激，以诱导一定的皮质兴奋或抑制效应。

注：两个脉冲之间的间歇时间为 $0\sim 250\text{ ms}$ ，可以调节，模式示意图见图4。两个脉冲可以通过一个刺激线圈输出，成对刺激同一个部位；也可以分别通过两个刺激线圈输出，成对相继刺激两个不同的部位（double-coil TMS, dcTMS；或twin coil TMS, tcTMS）。第一个刺激为条件刺激（conditioning stimulus, CS），第二个刺激为测试刺激（test stimulus, TS）。产生易化或是抑制皮质的效应，取决于CS/TS的刺激强度和两个脉冲的ISI，多是毫秒（ms）级的时间间隔。

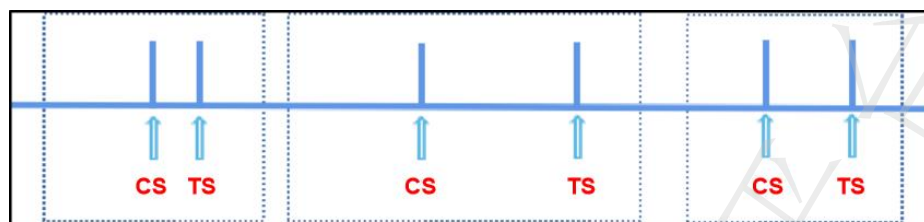


图4 成对脉冲刺激模式示意图

3.3.1

皮质内易化 intracortical facilitation; ICF

通过一个刺激线圈输出的ppTMS进行检测，在M1区先进行阈下CS，间隔8-30 ms给予阈上TS，TS诱发的MEP波幅较spTMS诱发的MEP波幅增高。

3.3.2

短间隔皮质内易化 short-interval intracortical facilitation; SICF

通过一个刺激线圈输出的ppTMS进行检测，在M1区先进行阈下CS，间隔在1.1-1.5ms、2.3-3.0ms、4.1-5.0 ms进行阈上TS，TS诱发的MEP波幅较spTMS诱发的MEP波幅增高。

3.3.3

短间隔皮质内抑制 short-interval intracortical inhibition; SICI

通过一个刺激线圈输出的ppTMS进行检测，在M1区先进行阈下CS，间隔1-6 ms进行阈上TS，TS诱发的MEP波幅较spTMS诱发的MEP波幅降低。

3.3.4

长间隔皮质内抑制 long-interval intracortical inhibition; LICI

通过一个刺激线圈输出的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波幅降低。

3.3.5

半球间抑制 interhemispheric inhibition; IHI

通过两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之间时，TS诱发的MEP波幅较spTMS诱发的MEP波幅降低。

3.3.6

半球间易化 interhemispheric facilitation; IHF

是皮质易化的一种形式，通过两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4-6 ms之间时，TS诱发的MEP波幅较spTMS诱发的MEP波幅降低。

3.4

成对联合刺激 paired associative stimulation; PAS

PAS是ppTMS的一种特殊形式，可以由一个对大脑皮质的TMS刺激和一个对周围神经的电刺激共同组成的配对刺激；也可以是使用双线圈（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）。

3.4.1

短潜伏期传入抑制 short-latency afferent inhibition; 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，电刺激（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

激强度为诱发对侧靶肌肉反应为MEP峰-峰幅值为1mV的强度。在CS后TS诱发的MEP波幅较spTMS降低，是感觉传入刺激对TMS所诱发MEP的抑制作用。

3.4.2

长潜伏期传入抑制 long-latency afferent inhibition; LAI

在M1区进行TS-TMS前N20潜伏期+ (100-300) ms (也有报道ISI为200-1000 ms) 应用电刺激在对侧正中神经或食指施加电流干预，电刺激 (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诱发对侧靶肌肉反应为MEP峰-峰幅值为1mV的强度。在CS后TS诱发的MEP波幅较spTMS降低，是感觉传入刺激对TMS所诱发MEP的抑制作用。

3.5

三重刺激技术 triple stimulation technique; TST

TST 是运动诱发电位 (MEP) 的一项改进技术，利用 TMS 和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 兴奋的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。

TST 是利用上肢的上行性和下行性神经冲动发生对冲的原理。以鱼际肌记录为例，TST 需要先施加一个阈上强度的 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。三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's 点的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一个复合肌肉动作电位 (compound muscle action potential, CMAP)，在 Erb's 点超强刺激之后，可在鱼际肌上记录到，其形状和波幅与仅在 Erb's 点刺激引出的对照动作电位非常相似。施加 TMS 后运动皮质输出的减少将导致与腕部刺激产生的逆行性神经冲动发生不完全对冲。剩余的逆行输入将与 Erb's 点刺激产生的传出神经冲动发生对冲，降低在鱼际肌上记录的动作电位波幅。

3.6

刺激线圈 stimulating coil

是TMS设备中的输出部件，经短时间内反复充放电会产生一个时变磁场，可直接作用于人体治疗部位。

注： 常见类型有“8”字形线圈、圆形线圈、双锥形线圈、H形线圈等。

3.7

刺激强度 stimulation intensity

是TMS刺激线圈表面产生的磁感应强度，单位为特斯拉 (T)。

注： 实际应用中以TMS刺激器的最大输出强度的百分比表示。

3.8

最佳刺激点 hot spot

TMS能诱发靶肌肉最大且最稳定MEPs波幅的位置。

4 基本要求

4.1 设备要求

TMS评估使用设备应满足YY/T 0994-2015第4章要求。

4.2 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。

4.3 检测室环境

4.3.1 设备电源应符合 GB 9706.1-2007 中 10.2.2 的要求。

4.3.2 设备温度保护应符合 GB 9706.1-2007 中第 42 章的要求。

4.3.3 检测室面积不应小于 20m²。

4.3.4 每个 TMS 检测仪宜配备一张木质治疗床或治疗椅，在 TMS 设备周边 2m 的范围内，不宜放置、使用其他医疗电子设备。

4.3.5 线圈 10cm 范围内，不应有金属物（口腔除外）和电子设备，包括：

- 检测部位 10cm 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；
- 子弹碎片；
- 金属支架；
- 手机、信用卡、计算器等电、磁物品；
- 各类金属首饰、手表、眼镜等。

4.3.6 妊娠者应远离线圈至少 0.7m。

4.3.7 评估室内所有人员均宜佩戴耳塞。

5 评估方法

5.1 单脉冲经颅磁刺激（spTMS）

5.1.1 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 $\geq 50\mu\text{v}$ 的 MEP 所需的最小刺激强度（用 TMS 机器强度%表示）。

5.1.2 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-峰幅值 $\geq 200\mu\text{v}$ 时的最小刺激强度（用 TMS 机器强度%表示）。

5.1.3 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 运动神经元激活，并被表面或针式肌电图在靶肌肉记录到的电位活动。

5.1.4 CMCT：指 TMS 的诱发信号从运动皮质沿着皮质脊髓束到（支配上、下肢）脊髓前脚运动神经元的的时间。

5.1.5 CSP：阈上 TMS 刺激一侧皮质，使对侧上肢处于等张收缩的靶肌肌电活动短暂抑制的时间。

5.1.6 ISP：阈值 TMS 刺激一侧皮质，使同侧上肢处于等张收缩的靶肌肌电活动短暂抑制的时间。

5.2 成对脉冲经颅磁刺激

5.2.1 SICI：先阈下条件刺激（condition stimulation, CS），间隔 1-6ms 给予阈上测试刺激（test stimulation, TS），MEP 较 spTMS 诱发的波幅降低。

5.2.2 LICI：先阈上 CS，间隔 50-200 ms 给予阈上 TS，MEP 较 spTMS 诱发的波幅降低。

5.2.3 SICF：先阈上 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。

5.2.4 ICF：先阈下 CS，间隔 8-30 ms 给予阈上 TS，MEP 较 spTMS 诱发的波幅升高。

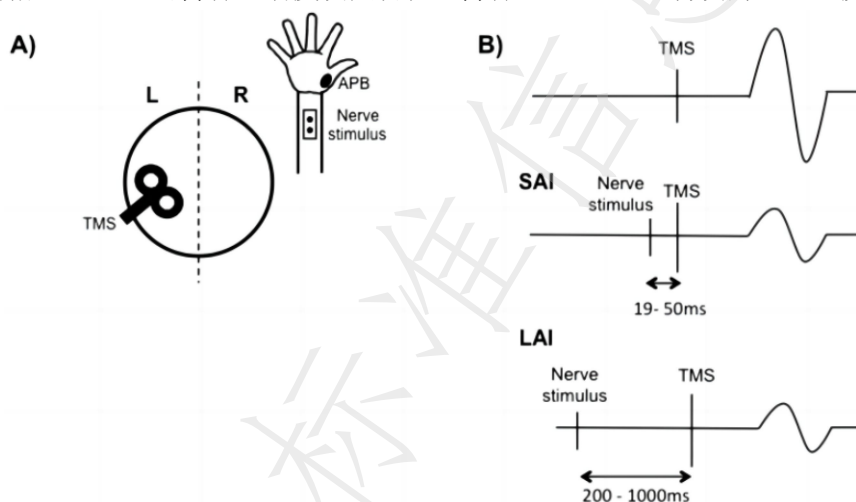
5.2.5 IHI: 两个刺激线圈, 先阈上 CS 刺激一侧半球 M1, 间隔 6-50 ms, 再阈上 TS 刺激对侧半球 M1, MEP 较 spTMS 诱发的波幅降低。

5.2.6 IHF: 两个刺激线圈, 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。

5.3 成对联合刺激

5.3.1 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 (见图 5)。

5.3.2 LAI: TMS 刺激前 N20 潜伏期+ (100-300) ms (也有报道 ISI 为 200-1000 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 (见图 5)。



注: 此图源自: C.V. Turco et al. / Brain Stimulation 11 (2018) 59e74

图 5 TMS 检测 SAI/LAI 示意图

6 评估流程

6.1 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。

6.2 以“8”字型线圈中心置于受试者一侧M1区进行刺激, 线圈保持与头皮相切并紧密接触, 线圈手柄所在轴线与受试者正中中线保持45°夹角 (如若是用圆形线圈, 则线圈手柄方向朝向正后方)。

6.3 利用表面电极记录对侧靶肌肉 (上肢通常为拇短展肌/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。

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

6.5 各指标具体评估如下:

——RMT: 肌肉静息状态下, 在运动热点部位下调刺激强度至 10 次刺激中至少有 5 次诱发的 MEPs 波幅 $\geq 50\mu\text{V}$, 该刺激强度 (用 TMS 机器强度%表示) 即为 RMT, 并记录 MEPs。在没有肌电设备记录情况下, 通过目测法观察 TMS 诱发靶肌肉的抽动来判断。

- AMT: 做拇指示指捏的动作(下肢为踝背屈动作), 采用测力计记录最大收缩力。然后计算 20% 的最大等长收缩力, 并嘱被试肌肉控制并保持在 20% 最大等长收缩的轻微收缩状态, 连续 10 次 TMS 刺激引起至少 5 次峰-峰幅值 > 200 μ v MEPs 时的刺激强度。
- CMCT: 刺激颈部神经根, 即刺激颈 7—胸 1 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 MEPs 潜伏期减去刺激神经根的周围性 MEPs 潜伏期可以获得近似的 CMCT; 或者以重复超强度电刺激肘部正中神经或尺神经(下肢为腓窝部胫神经或腓总神经), 在所支配的远端肌记录动作电位, 在每一次刺激中, 早成分(M 波)后出现一个晚成分 F 波。F 波至 M 波潜伏期之差, 代表了由刺激点到脊髓以及返回到刺激点的时间, 1ms 是在神经细胞中传递的时间, 再除以 2 就是外周运动传导时间, 即 PMCT = (F 潜伏期 - M 潜伏期 - 1) / 2, CMCT = 刺激皮质的 MEPs 潜伏期减去 PMCT。
- 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 后一段时间内, 肌电活动短暂静息, 测量值为 MEPs 受抑制开始到肌电信号再次出现的时间, 即为 CSP。单次 TMS 刺激使同侧靶肌处于等长收缩的肌电活动短暂静息的时间, 即为 ISP。
- SICI、ICF、LICI 和 SICF: 先记录 120 %RMT 的 MEPs 为对照 MEPs (Control-MEPs, cMEPs)。成对刺激的第一个刺激(S1)为 80-90 %RMT 刺激量的阈下 CS, 成对刺激的第二个刺激(S2)为 120 %RMT 的阈上 TS, 当两个刺激间隔(interstimulus interval, ISI)为 1-6 ms, 则 TS 诱发的 MEPs (Test-MEPs) 波幅和 Test-MEPs/cMEPs 比值百分率会降低, 即为 SICI。ICF 的评估步骤同 SICI, 不同的仅为 ISI 为 8-30 ms; LICI 评估步骤同 SICI, 但其 S1 为 120 %RMT 的阈上 CS, S2 为 120 %RMT 的阈上 TS, ISI 为 50-200 ms; SICF 评估步骤同 SICI, 但其 S1 为 120 %RMT 的阈上 CS, S2 为 80-90 %RMT 的阈下 TS, ISI 为 1.1-1.5, 2.3-3.0, 4.1-5.0ms。
- 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 在 6-50 ms 之间时, TS 在对侧上肢静息靶肌诱发的 MEPs 波幅比 spTMS 诱发的 MEP 降低。IHF 评估步骤同 IHI, 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 MEP 升高。
- 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, 电刺激(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 诱发对侧靶肌肉反应为 MEP 峰-峰幅值为 1mV 的强度。记录 CS 后 TS 诱发的 MEPs。LAI 评估步骤同 SAI, 但电刺激(CS)和 TMS 刺激(TS)时间间隔约为 N20 潜伏期 + (100-300) ms (也有报道 ISI 为 200-1000 ms)。SAI 和 LAI 常用电刺激(CS)后 TS 诱发的 MEP 除以 spTMS-MEP 的比值(ratio)表示。比值越低表示传入性抑制越强。

7 注意事项

7.1 禁忌证

7.1.1 绝对禁忌证

下述情况不应进行经颅磁刺激评估操作:

- 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;

- 颅内高压、颅内感染；
- 严重心血管疾病，尤其是心脏起搏器、心脏支架安装者。

7.1.2 相对禁忌证

下述情况进行TMS评估存在风险，在检测前应结合病症给予利弊权衡：

- 癫痫病史或者脑电图检查提示有癫痫样改变者禁止使用高强度刺激；
- 严重脑出血、脑外伤、肿瘤、感染等可能诱发癫痫的疾病；
- 急性大面积脑梗死、颅内多发动脉瘤；
- 严重心脏病史或最近有心脏病发作；
- 正在服用可能降低癫痫发作阈值的药物；
- 既往或同时使用电休克疗法或迷走神经刺激；
- 睡眠剥夺，酒精依赖；
- 青光眼、视网膜脱落；
- 孕妇；
- 儿童（感冒发热时不可做）。

7.2 操作人员注意事项

7.2.1 评估前查对患者姓名、病房、床号或就诊号等基本情况，查看患者躯体状况。门诊患者填写评估安全告知单。

7.2.2 评估时选择和调整刺激线圈在头颅表面的刺激部位、方向、角度，在确定最佳刺激点后，保持刺激线圈和患者头部的相对位置不变。

7.2.3 操作者应注意在设备使用寿命期间可能发生的故障，例如线圈或设备外壳的裂缝、绝缘受损、声音改变、烟雾或意想不到的气味，在这种情况下，应立即停止使用该设备并由专业人员进行维修。

7.2.4 使用听力保护装置。

8 不良反应及应对措施

8.1 不良反应

可能出现下列不良反应：

- a) 头痛、颈部、面部疼痛；
- b) 耳鸣；
- c) 短暂听力下降；
- d) 癫痫发作；
- e) 面部或四肢抽动等；
- f) 牙痛；
- g) 晕厥；
- h) 情绪改变。

8.2 不良反应的应对措施

8.2.1 在 TMS 评估操作过程中，如果出现抽搐、意识丧失、晕厥或其他紧急情况时，立即按照以下

措施进行处理和急救：

- a) 立即停止评估；
- b) 保持患者气道通畅；
- c) 密切监测患者生命体征；
- d) 心脏停跳或呼吸暂停者，立即进行人工心肺复苏；
- e) 患者意识状态评估；
- f) 联系患者家属，告知患者病情和相应处理办法。

8.2.2 在 TMS 评估操作过程中，如果出现耳鸣、听力下降时，立即按照以下措施进行处理：

- a) 患者、受试者和 TMS 操作员使用合适且经批准的听力保护装置（耳塞或耳罩）；
- b) 对任何在 TMS 评估或干预后出现听力损失、耳鸣或耳闷的个人进行听觉评估；
- c) 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，必须在仔细评估相关风险/收益比后才可进行 TMS；
- d) 如使用设备为新研发的刺激线圈，应立即停止 TMS 评估，并对新研发的线圈声音输出强度进行评估，并应按照这些措施进行听力安全研究。

8.2.3 在 TMS 评估操作过程中，如果出现头痛、面部疼痛、颈部不适时，立即按照以下措施进行处理：

- a) 立即停止 TMS 评估，一般疼痛即能缓解，如疼痛的持续时间较长或较剧烈，建议服用单次剂量的扑热息痛或阿司匹林；
- b) 调整患者头部位置，选择舒适体位，尽可能减少线圈对头部的压力；
- c) 调整 TMS 刺激强度大小，刺激时间；
- d) 立即停止 TMS 评估，休息后可缓解者可继续进行评估，如连续 2 次出现不能耐受者，立即停止此评估，更换为其他评估方法。

8.2.4 在 TMS 评估操作过程中，如果出现牙痛时，立即按照以下措施进行处理：停止评估，休息后能缓解者可不作特殊处理，休息后不能缓解建议患者前往口腔门诊就诊。

8.2.5 在 TMS 评估操作过程中，如果出现情绪改变时，立即按照以下措施进行处理：停止评估，密切监测受试者直到恢复正常功能，必要时对其进行全面的神经系统检查。

8.2.6 紧急情况处理结束后，将症状程度、出现时间、持续时间、处理措施等进行详细记录；查找原因并评价与其评估的相关性。

9 主要指标的生理意义

9.1 **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，用于功能区绘图。

9.2 **MEP 潜伏期**：神经轴索中快传导纤维到达肌肉的时间，持续时间代表每个单个肌纤维能否在同一时间内几乎同时放电，可用于估算中枢、和脊髓和外周神经中的传导时间，潜伏期时间参考范围 23.4 ± 2.1 ms。可反映刺激部位与外周靶肌之间的突触数量以及白质纤维束的完整性，如突触直径和髓鞘厚度。

9.3 **RMT**：反应皮质脊髓谷氨酸（Glu）能运动神经元兴奋性、初级皮质—皮质纤维连接。

9.4 **AMT**：与皮质脊髓束快传导神经元诱导的下行冲动有关，在收缩过程中，皮质脊髓神经元和脊髓运动神经元接近放电阈值，I 波易化，增加 MEP 波幅，缩短潜伏期。

9.5 **CMCT**：指 TMS 的诱发信号从运动皮质沿着皮质脊髓束到（支配上下肢的）脊髓运动神经元的时间，反映下传运动通路（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受损程

度与保留情况。参考范围：7.2±1.4 ms。

9.6 CSP: 包括 cCSP 和 iCSP。cCSP 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; iCSP 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。

9.7 ICF: 评价可能由兴奋性神经递质 N-甲基-D-天门冬氨酸盐受体 (N-methyl-D-aspartate receptor, NMDAR) 介导的皮质内易化。通常以阈下 CS, 间隔 8-30 ms 给予阈上 TS, TS-MEP 波幅/spTMS-MEP 波幅表示, 参考范围: 1.5-2.1, 当比值减小说明皮质内易化降低, 比值增大皮质内易化升高。

9.8 SICF: 可能与抑制性神经递质 GABA_b 介导的突触前去抑制有关。

9.9 SICI: 评价抑制性神经递质 GABA_a 介导的长时程皮质抑制, 评估抑制回路的兴奋性, SICI 量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/spTMS-MEP 波幅表示, 参考范围: 0.4-0.6, 比值减小提示皮质内抑制性神经元的活性增强, 比值升高提示皮质内抑制性神经元的活性降低。

9.10 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。

9.11 IHI: 评价两个同源运动皮质之间 (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。

9.12 IHF: 可评价两个同源运动皮质之间 (主要为胼胝体) 连接功能的完整性。

9.13 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。

参 考 文 献

- [1] Valls-Sole, J. Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) Clinical Applications: Diagnostics. In: Rotenberg, A., Horvath, J., Pascual-Leone, A. (eds) Transcranial Magnetic Stimulation[M]. Neuromethods, 2014, vol 89. Humana Press, New York, NY.
- [2] Vahabzadeh-Hagh, A. Paired-Pulse Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) Protocols. In: Rotenberg, A., Horvath, J., Pascual-Leone, A. (eds) Transcranial Magnetic Stimulation[M]. Neuromethods, 2014, vol 89. Humana Press, New York, NY.
- [3] Lefaucheur JP. Transcranial magnetic stimulation[J]. Handb Clin Neurol. 2019; 160: 559-580.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Rossini PM, 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.
- [7] Sankarasubramanian V, Roelle SM, Bonnett CE, 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.
- [8] Caranzano L. Exploring Brain Inhibition and Facilitation by Transcranial Magnetic Stimulation[D]. Université de Lausanne, Faculté de biologie et médecine, 2014.
-