

· 综述 ·

重复经颅磁刺激治疗神经病理性疼痛的临床研究进展

裴倩 黄强 郭险峰

北京积水潭医院, 北京 100035

通信作者: 郭险峰, Email: gxf69930@163.com

【摘要】 神经病理性疼痛是由于周围或中枢神经系统原发疾病或继发性损害引起的疼痛疾病。重复经颅磁刺激是一种非药物治疗神经病理性疼痛的治疗手段, 可有效缓解疼痛。本文就重复经颅磁刺激治疗神经病理性疼痛的机制、临床应用、影响因素和安全性进行系统综述, 以期对神经病理性疼痛的治疗提供参考和理论依据。

【关键词】 重复经颅磁刺激; 神经病理性疼痛; 研究进展

基金项目: 北京市医院管理中心“青苗”计划专项 (QML20190404); 北京积水潭医院“学科骨干”计划专项 (XKGG202124); 北京积水潭医院“学科新星”计划专项 (XKXX201819)

Funding: Beijing Hospitals Authority Youth Programme (QML20190404); Beijing Jishuitan Hospital Elite Young Scholar Programme (XKGG202124); Beijing Jishuitan Hospital Nova Program (XKXX201819)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.11.023

神经病理性疼痛 (neuropathic pain) 是指由于周围或中枢神经系统原发疾病或继发性损害引起的疼痛疾病^[1], 是临床上最为难治的疼痛疾病之一, 每年的发病率为 0.82%^[2]。在临床中, 神经病理性疼痛主要包括, 带状疱疹后神经痛、神经系统损伤后疼痛、复发性三叉神经痛、复杂区域疼痛综合征、幻肢痛等^[3]。上述疾病的患者通常遭受身体疼痛的折磨, 生活质量低下, 给其家庭乃至社会带来了沉重负担^[4]。

神经调控治疗包括经皮神经电刺激、经颅磁刺激、经颅直流电刺激、脊髓电刺激等多种治疗方式^[5]。1985 年, Barker 等^[6]第一次将经颅磁刺激作用于大脑皮质运动区, 观察到对侧手部肌肉抽搐。此后, 经颅磁刺激因其镇痛效果迅速、副作用小, 逐渐在多临床科室被广泛应用 (包括神经内科、康复医学科、精神科等), 且重复经颅磁刺激 (repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS) 也被用于治疗多种神经病理性疼痛^[7]。本文就近年来 rTMS 治疗神经病理性疼痛的临床研究进展进行综述, 旨在为神经病理性疼痛的临床治疗提供参考。

rTMS 治疗神经病理性疼痛的机制

rTMS 通过中枢神经系统调节大脑皮质和皮质下结构发挥镇痛作用, 镇痛机制主要包括以下几个方面。

一、rTMS 可改变大脑皮质的兴奋性

慢性疼痛常伴有中枢神经系统的过度兴奋和下行抑制通路的节段性丧失, 痛觉通常由 C 和 A 初级传入神经元的活动诱发, C 伤害性感受器的自发性活动可以引起中枢感觉处理的继发性改变, 导致脊髓过度兴奋, 这使得来自 A 纤维的传入也会感知为疼痛^[1]。神经损伤后, 抑制性中间神经元和下行调控系统发生功能失调, 导致脊髓背角神经元去抑制或易化^[8]。Cioni 等^[9]对疼痛受试者的感觉皮质进行了 rTMS 治疗, 功能性磁共振成像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 表明, rTMS 通过兴奋丘脑, 可以抑制疼痛传导通路脊髓-丘脑束, 从而减轻疼痛。因此, rTMS 可能通过调节疼痛传递通路, 改变大脑皮质

的兴奋性来起到镇痛作用。另有研究表明, rTMS 可以双向调节大脑皮质兴奋性, 其中高频 rTMS 可提高大脑局部的兴奋性, 低频 rTMS 则会降低大脑局部的兴奋性^[10]。

二、rTMS 可改善脑血流量和代谢

研究表明, 高频 rTMS 刺激可加快同侧脑区代谢, 并增加脑血流量; 而低频 rTMS 刺激可降低同侧脑区的代谢和脑血流量, 代偿性增加对侧脑血流量^[11]。有研究对健康受试者皮内注射辣椒素引起疼痛 1 min 后, 采用低频 rTMS 刺激同侧初级运动皮质 (primary motor area, M1), 结果显示, 同侧前额叶脑血流量减少, 对侧运动前区脑血流量代偿性增加, 同时受试者疼痛明显减轻, 该研究结果表明, rTMS 的镇痛效果与脑血流量的变化相关^[12]。

三、rTMS 可调节神经递质的表达

研究表明, rTMS 可通过刺激释放内源性阿片, 增强脑源性神经营养因子分泌和神经递质 γ -氨基丁酸 (γ -aminobutyric acid, GABA) 浓度等, 达到镇痛效果^[13]。Lu 等^[14]的研究表明, 高频 rTMS 可通过下调同侧脊髓背角背根神经节 (dorsal root ganglion, DRG) 中神经元一氧化氮合酶 (neuronal nitric oxide synthase, nNOS) 的过表达, 抑制 L₄₋₆ 脊髓背角同侧星形胶质细胞对神经性疼痛的活性和增殖, 从而减轻神经性疼痛。

四、rTMS 对神经系统可塑性的影响

Pridmore 等^[15]的研究显示, 高频 rTMS 可增加 M1 区兴奋性, 持续时间为 1.5~4 min; 低频 rTMS 可降低 M1 区兴奋性, 第一天可持续 30 min, 第二天可持续 2 h, 该研究结果表明, rTMS 可产生累计效应, 导致脑内可塑性发生改变。

rTMS 治疗神经病理性疼痛的临床应用

一、rTMS 治疗带状疱疹后神经痛

殷稚飞等^[16]将带状疱疹后神经痛患者 60 例均分为前额叶背外侧皮质 (dorsal prefrontal cortex, DLPFC) 区组 (DLPFC 组)、初级运动皮质 (M1) 区组 (M1 组) 和假刺激组, DLPFC 组和 M1

组均采用 rTMS 进行干预,假刺激组行假 rTMS 刺激,治疗 4 周后,DLPFC 组和 M1 组视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS) 评分均较组内治疗前和假刺激组显著改善 ($P<0.05$)。

二、rTMS 治疗脑卒中后中枢痛

脑卒中后患者疾病状态时,痛觉神经传导通路会发生神经损伤、末梢神经兴奋性异常、神经可塑性的变化等病理改变,可引起疼痛传导通路的外周敏化、中枢敏化、下行疼痛抑制系统的失能和离子通道的改变等^[17]。rTMS 的治疗部位、强度、频率等参数的不同,也可能影响 rTMS 的镇痛效果。Mansur 等^[18]采用低频 rTMS (1 Hz) 刺激中风偏瘫患者对侧 M1 区,结果显示,受试者的疼痛程度显著改善;而 Khedr 等^[19]采用 3 Hz 的 rTMS 刺激脑卒中后患者中风侧大脑半球 M1 区,结果显示,患者脑卒中后神经病理性疼痛显著减轻;Ameli 等^[20]采用 10 Hz 的 rTMS 治疗中风患者,也取得了与 Khedr 等相似的结果。

三、rTMS 治疗脊髓损伤后神经痛

神经痛在脊髓损伤患者中非常常见,且药物疗效较差,因此 rTMS 对脊髓损伤后神经痛的疗效得到了重视^[21]。Belci 等^[22]采用 10 Hz, 90% 静息运动阈值 (resting motor threshold, RMT) 的 rTMS 刺激 4 例颈脊髓损伤稳定期患者的 M1 区,每日 1 次,每周治疗 5 d,治疗 3 周后,患者的 ASIA 运动评分、ASIA 针刺觉评分较治疗前均显著改善,该研究认为,rTMS 可通过改善大脑皮质的兴奋性来减轻脊髓损伤后神经痛。Yilmaz 等^[23]的研究也显示,rTMS 治疗脊髓损伤后神经痛的短期疗效与假刺激治疗组无明显差异,但治疗 6 周后,rTMS 治疗组患者的疼痛缓解程度明显优于假刺激组。Meta 分析结果提示,rTMS 治疗脊髓损伤后神经痛有效,但因各项研究的偏倚较大,可信度不高^[24-25]。

四、rTMS 治疗幻肢痛

幻肢痛常见于截肢患者,是一种顽固性的神经痛,且药物疗效较差。DiRollo 等^[26]用 1 Hz 的 rTMS 刺激左上臂截肢后幻肢痛患者的 M1 区,刺激强度为 80% RMT,600 个脉冲,每周 5 d,连续刺激 3 周后,该患者的 VAS 评分从 6 分降到 4 分。Malavera 等^[27]将 54 例幻肢痛患者按随机数字表法分为 10 Hz 高频 rTMS 治疗组 27 例和假刺激组 27 例,结果显示,10 Hz 高频 rTMS 治疗组患者的疼痛明显改善,且疗效可持续 15 d,而假刺激组受试者的疼痛与组内治疗前比较,无显著变化。

五、rTMS 治疗复杂性区域疼痛综合征

复杂性区域性疼痛综合征 (complex regional pain syndrome, CRPS) 是一组继发于伤害性事件的疼痛症候群,表现为区域性疼痛、感觉异常和自主神经系统功能紊乱^[28]。Lee 等^[29]对 10 例 CRPS 患者的 M1 区进行了 10 Hz, 110% RMT 的 rTMS 治疗后,有 7 例患者在刺激结束后 30 s 内疼痛开始改善,VAS 评分和 Beck 抑郁量表评分也显著下降。

rTMS 疗效的影响因素

rTMS 治疗神经病理性疼痛的疗效主要与 rTMS 的刺激频率、刺激强度、刺激部位、脉冲数等因素有关^[30]。

一、刺激部位对 rTMS 疗效的影响

目前,运动皮质是治疗神经病理性疼痛最常用的区域,前额叶皮质是另一个重要位置^[31]。Hosomi 等^[32]比较了 5 Hz 的 rTMS 刺激 M1 区、中央后回、运动前区、辅助运动区对神经病理

性疼痛患者的疗效,结果显示,M1 区刺激组患者疼痛明显缓解,其 VAS 评分和简化的 McGill 疼痛问卷调查量表 (short-form of McGill pain questionnaire, SF-MPQ) 评分均有所下降,其余 3 个刺激部位均无镇痛效果。Borekardt 等^[33]对 4 例患者的左侧 DLPFC 区进行了 10 Hz 的 rTMS 刺激,结果显示,有 3 例患者在治疗结束后的 VAS 评分下降 19%。目前,虽然硬膜外运动皮质刺激 (epidural motor cortex stimulation, EMCS) 和 rTMS 均推荐刺激 M1 区来治疗难治性慢性神经病理性疼痛,但由于其实际应用和调控问题,在临床实践中的应用仍然有限^[34]。

二、刺激频率对 rTMS 疗效的影响

高频 rTMS 和低频 rTMS 对神经病理性疼痛均有一定的镇痛作用^[35]。低频 rTMS 可降低大脑局部的兴奋性,从而代偿性提高对侧大脑的兴奋性;高频 rTMS 则可直接提高大脑局部的兴奋性,从而直接改善疼痛^[36]。大量文献研究显示,高频 rTMS 的镇痛效果优于低频 rTMS,所以多使用高频 rTMS 治疗顽固性神经痛^[35]。Short 等^[37]对神经病理性疼痛患者随机双盲对照研究,结果提示 20 Hz 的 rTMS 其镇痛效果优于 1 Hz。Jin 等^[38]的 meta 分析结果显示,高频 rTMS 治疗神经病理性疼痛疗效显著。Hodaj 等^[39]病例研究也表明,重复使用高频 rTMS 于运动皮质,可以改善影响下肢的慢性神经性疼痛患者的日常功能,即使在没有疼痛缓解的情况下也是如此。

三、刺激强度对 rTMS 疗效的影响

刺激的强度是根据静息运动阈值 (resting motor threshold, RMT) 确定的,不同文献报道的 rTMS 刺激强度也不同的,但是一般采用 80% ~ 120% RMT,但最优刺激强度还需进一步确定^[40]。Berger 等^[41]的研究发现,40% 运动阈值 (motor threshold, MT) 的 rTMS 刺激可明显地降低 M1 区的兴奋性,而 100% MT 的 rTMS 刺激会提高兴奋性,80% MT 的刺激则对兴奋性的改变不明显。

四、脉冲数对 rTMS 疗效的影响

Ohn 等^[42]的研究证明,每日 10 Hz, 1000 次脉冲的 rTMS 刺激 M1 区 5 d 后,可对脑卒中后中枢疼痛产生部分抑制作用。Hua 等^[43]研究也发现,每日 10 Hz, 1000 次脉冲的 rTMS 刺激丘脑疼痛患者的 M1 区 10 d 后,患者的镇痛满意度达 25.0% ~ 66.7%,且 VAS 评分均明显下降。

rTMS 的安全性

虽然目前的研究认为,rTMS 的安全性相对较高,但临床应用仍需注意以下情况:①一般认为,过高频 (超过 10 ~ 25 Hz)、高强度 (高于阈值)、间隔时间很短的磁刺激更容易引发癫痫,治疗中,癫痫患者的发病率为 4% (有癫痫家族史的患者风险可能更高),正常人则 <1%,因此临床上应尽量采用低频磁刺激,强度尽量不超过阈值,并增大间隔时间,且癫痫患者和癫痫家族史患者应禁用 rTMS^[44];②虽然 rTMS 设备有自动散热系统,但仍应预防线圈过热导致头皮烧伤^[45];③因 rTMS 对听力的影响,所以对受试者应穿戴耳朵帽或海绵耳塞来保护听力^[46];④目前尚无文献明确报道 rTMS 对孕妇和胎儿发育的影响,但在临床上仍应重视 rTMS 可能的影响。

展望

rTMS 作为一种神经调控技术,可通过不同治疗参数刺激大

脑皮质,进一步产生镇痛作用,对神经病理性疼痛有肯定的疗效。但 rTMS 治疗神经病理性疼痛的参数、适应证、禁忌症和安全性等仍不明确,其治疗机制也有待于进一步的深入研究。

参 考 文 献

- [1] Lindholm P, Lamusuo S, Taiminen T, et al. The analgesic effect of therapeutic rTMS is not mediated or predicted by comorbid psychiatric or sleep disorders [J]. *Medicine*, 2016, 95 (44): e5231. DOI: 10.1097/MD.0000000000005231.
- [2] Dieleman JP, Kerklaan J, Huygen FJ, et al. Incidence rates and treatment of neuropathic pain conditions in the general population [J]. *Pain*, 2008, 137 (3): 681-688. DOI: 10.1016/j.pain.2008.03.002.
- [3] 胡巍然,余斌.慢性复发性多病灶性骨髓炎的诊疗进展[J].骨科临床与研究杂志,2017,2(3):189-192. DOI: 10.19548/j.2096.269x.2017.03.012.
- [4] Lamusuo S, Hirvonen J, Lindholm P, et al. Neurotransmitters behind pain relief with transcranial magnetic stimulation-positron emission tomography evidence for release of endogenous opioids [J]. *Eur J Pain*, 2017, 21 (9): 1505-1515. DOI: 10.1002/ejp.1052.
- [5] 邱玲,杨璇,张吉,张敏,等.电针夹脊穴配合调制中频治疗老年带状疱疹后遗神经痛的临床观察[J].中国康复,2016,(2):138-140. DOI:10.3870/zgkf.2016.02.018.
- [6] Barker AT, Jalinous R, Freeston IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex [J]. *Lancet*, 1985, 1 (8437): 1106-1107. DOI: 10.1016/S0140-6736(85)92413-4.
- [7] 王满宜,杨明辉.重视骨折治疗的并发症[J].骨科临床与研究杂志,2017,2(3):129. DOI: 10.19548/j.2096-269x.2017.03.001.
- [8] 何云武,龙慧,邹聪,等.普瑞巴林联合经皮电刺激治疗带状疱疹后遗神经痛的疗效[J].中国康复,2013,(1):35-36. DOI: 10.3870/zgkf.2013.01.012.
- [9] Cioni B, Meglio M. Motor cortex stimulation for chronic non-malignant pain: current state and future prospects [J]. *Acta Neurochir Suppl*, 2007, 97 (2): 45-49. DOI: 10.1007/978-3-211-33081-45.
- [10] Maertens DNA. General principles for clinical use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) [J]. *Neurophysiol Clin*, 2006, 36 (3): 97-103. DOI: 10.1016/j.neucli.2006.08.010.
- [11] Leung A, Metzger-Smith V, He Y, et al. Left dorsolateral prefrontal cortex rTMS in alleviating MTBI related headaches and depressive symptoms [J]. *Neuromodulation*, 2018, 21 (4): 390-401. DOI: 10.1111/ner.12615.
- [12] Tamura Y, Okabe S, Ohnishi T, et al. Effects of 1-Hz repetitive transcranial magnetic stimulation on acute pain induced by capsaicin [J]. *Pain*, 2004, 107 (1-2): 107-115. DOI: 10.1016/j.pain.2003.10.011.
- [13] Dall'Agnol L, Medeiros LF, Torres IL, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation increases the corticospinal inhibition and the brain-derived neurotrophic factor in chronic myofascial pain syndrome: an explanatory double-blinded, randomized, sham-controlled trial [J]. *J Pain*, 2014, 15 (8): 845-855. DOI: 10.1016/j.jpain.2014.05.001.
- [14] Lu Y, Sai-Hua W, Yan H, et al. Effects of Repetitive transcranial magnetic stimulation on astrocytes proliferation and nNOS Expression in Neuropathic Pain Rats [J]. *Curr Med Sci*, 2018, 38 (3): 482-490. DOI: 10.1007/s11596-018-1904-3.
- [15] Pridmore S, Oberoi G, Marcolin M, et al. Transcranial magnetic stimulation and chronic pain: current status [J]. *Austr Psychiatry*, 2005, 13 (3): 258-265. DOI: 10.1080/j.1440-1665.2005.02197.x.
- [16] 殷稚飞,沈滢,戴文骏,等.高频重复经颅磁刺激治疗带状疱疹后遗神经痛的疗效[J].江苏医药,2017,43(18):1331-1334. DOI: 10.19460/j.cnki.0253-3685.2017.018.014
- [17] 曾嵘,陈文军,贾文辉,等.卒中后中枢性神经病理性疼痛伴抑郁的临床研究[J].中国药物与临床,2018,18(05):67-68. DOI: CNKI:SUN:YWLC.0.2018-05-036.
- [18] Mansur CG, Fregni F, Boggio PS, et al. A sham stimulation-controlled trial of rTMS of the unaffected hemisphere in stroke patients [J]. *Neurology*, 2005, 64 (10): 1802-1804. DOI: 10.1212/01.WNL.0000161839.38079.92.
- [19] Khedr EM, Ahmed MA, Fathy N, et al. Therapeutic trial of repetitive transcranial magnetic stimulation after acute ischemic stroke [J]. *Neurology*, 2005, 65 (3): 466-468. DOI: 10.1212/01.wnl.0000173067.84247.36.
- [20] Ameli M, Grefkes C, Kemper F, et al. Differential effects of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation over ipsilesional primary motor cortex in cortical and subcortical middle cerebral artery stroke [J]. *Ann Neurol*, 2009, 66 (3): 298-309. DOI: 10.1002/ana.21725.
- [21] Shimizu T, Hosomi K, Maruo T, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation accuracy as a spinal cord stimulation outcome predictor in patients with neuropathic pain [J]. *J Clin Neurosci*, 2018, 53: 100-105. DOI: 10.1016/j.jocn.2018.04.017.
- [22] Belci M, Catley M, Husain M, et al. Magnetic brain stimulation can improve clinical outcome in incomplete spinal cord injured patients [J]. *Spinal Cord*, 2004, 42 (7): 417-419. DOI: 10.1038/sj.sc.3101613.
- [23] Yilmaz B, Kesikburun S, Yasar E, et al. The effect of repetitive transcranial magnetic stimulation on refractory neuropathic pain in spinal cord injury [J]. *J Spinal Cord Med*, 2014, 37 (4): 397-400. DOI: 10.1179/2045772313Y.0000000172.
- [24] Moreno-Duarte I, Morse LR, Alam M, et al. Targeted therapies using electrical and magnetic neural stimulation for the treatment of chronic pain in spinal cord injury [J]. *Neuroimage*, 2014, 85 (Pt 3): 1003-1013. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.05.097.
- [25] Boldt I, Eriks-Hoogland I, Brinkhof MW, et al. Nonpharmacological interventions for chronic pain in people with spinal cord injury [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2014 (11): CD009177. DOI: 10.1002/14651858.CD009177.pub2.
- [26] Di Rollo A, Pallanti S. Phantom limb pain: low frequency repetitive transcranial magnetic stimulation in unaffected hemisphere [J]. *Case Rep Med*, 2011, 2011: 130751. DOI: 10.1155/2011/130751.
- [27] Malavera A, Silva FA, Fregni F, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation for phantom limb pain in land mine victims: a double-blinded, randomized, sham-controlled trial [J]. *J Pain*, 2016, 17 (8): 911-918. DOI: 10.1016/j.jpain.2016.05.003.
- [28] 舒伟,陶蔚,胡永生,等.脊髓电刺激治疗复杂区域性疼痛综合征[J].中国微侵袭神经外科杂志,2013,18(2):60-62. DOI: 1009-122X(2013)02-0060-03.
- [29] Lee SJ, Kim DY, Chun MH, et al. The effect of repetitive transcranial magnetic stimulation on fibromyalgia: a randomized sham-controlled trial with 1-mo follow-up [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2012, 91 (12): 1077-1085. DOI: 10.1097/PHM.0b013e3182745a04.
- [30] Charles Q, Benjamin P, Camille F, et al. Robot-guided neuronavigated repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) in central neuro-

- pathic pain[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2018, 99(11): 2203-2215. DOI: 10.1016/j.apmr.2018.04.013.
- [31] Lin H, Li W, Ni J, et al. Clinical study of repetitive transcranial magnetic stimulation of the motor cortex for thalamic pain[J]. Medicine, 2018, 97(27): e11235. DOI: 10.1097/MD.00000000000011235.
- [32] Hosomi K, Shimokawa T, Ikoma K, et al. Daily repetitive transcranial magnetic stimulation of primary motor cortex for neuropathic pain: a randomized, multicenter, double-blind, crossover, sham-controlled trial[J]. Pain, 2013, 154(7): 1065-1072. DOI: 10.1016/j.pain.2013.03.016.
- [33] Borckardt JJ, Reeves ST, Beam W, et al. A randomized, controlled investigation of motor cortex transcranial magnetic stimulation (TMS) effects on quantitative sensory measures in healthy adults: evaluation of tms device parameters[J]. Clin J Pain, 2011, 27(6): 486-494. DOI: 10.1097/AJP.0b013e31820d2733.
- [34] Dosenovic S, Kadic A J, Miljanovic M, et al. Interventions for neuropathic pain: an overview of systematic reviews[J]. Anesth Analg, 2017, 125(2): 643-652. DOI: 10.1213/ANE.0000000000001998.
- [35] Andre-Obadia N, Magnin M, Simon E, et al. Somatotopic effects of rTMS in neuropathic pain? A comparison between stimulation over hand and face motor areas[J]. Eur J Pain, 2018, 22(4): 707-715. DOI: 10.1002/ejp.1156.
- [36] Pommier B, Quesada C, Fauchon C, et al. Added value of multiple versus single sessions of repetitive transcranial magnetic stimulation in predicting motor cortex stimulation efficacy for refractory neuropathic pain[J]. J Neurosurg, 2018, 5: 1-12. DOI: 10.3171/2017.12.JNS171333.
- [37] Short EB, Borckardt JJ, Anderson BS, et al. Ten sessions of adjunctive left prefrontal rTMS significantly reduces fibromyalgia pain: a randomized, controlled pilot study[J]. Pain, 2011, 152(11): 2477-2484. DOI: 10.1016/j.pain.2011.05.03.
- [38] Jin Y, Xing G, Li G, et al. High frequency repetitive transcranial magnetic stimulation therapy for chronic neuropathic pain: a meta-analysis[J]. Pain Physician, 2015, 18(6): E1029-E1046.
- [39] Hodaj H, Payen JF, Lefaucheur JP. Therapeutic impact of motor cortex rTMS in patients with chronic neuropathic pain even in the absence of an analgesic response. A case report[J]. Neurophysiol Clin, 2018, 48(5): 303-308. DOI: 10.1016/j.neucli.2018.05.039.
- [40] Hussein AE, Esfahani DR, Moissak GI, et al. Motor cortex stimulation for deafferentation pain[J]. Curr Pain Headache Rep, 2018, 22(6): 45. DOI: 10.1007/s11916-018-0697-1.
- [41] Berger U, Korngreen A, Bar-Gad I, et al. Magnetic stimulation intensity modulates motor inhibition[J]. Neurosci Lett, 2011, 504(2): 93-97. DOI: 10.1016/j.neulet.2011.09.004.
- [42] Ohn SH, Chang WH, Park CH, et al. Neural correlates of the antinociceptive effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on central pain after stroke[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2012, 26(4): 344-352. DOI: 10.1177/1545968311423110.
- [43] Hua L, Wen JL, Jia XN, et al. Clinical study of repetitive transcranial magnetic stimulation of the motor cortex for thalamic pain[J]. Medicine, 2018, 97(27): e11235. DOI: 10.1097/MD.00000000000011235.
- [44] Moisset X, Lefaucheur JP. Non pharmacological treatment for neuropathic pain: Invasive and non-invasive cortical stimulation[J]. Rev Neurol, 2019, 175(1-2): 51-58. DOI: 10.1016/j.neurol.2018.09.014.
- [45] 陈富勇, 陶蔚, 孙伟, 等. 重复经颅磁刺激治疗慢性神经病理性疼痛. 中国微侵袭神经外科杂志, 2013, 18(2): 57-59. DOI: ZWQX.0.2013-02-004.
- [46] Shimizu T, Hosomi K, Maruo T, et al. Efficacy of deep rTMS for neuropathic pain in the lower limb: a randomized, double-blind crossover trial of an H-coil and figure-8 coil[J]. J Neurosurg, 2017, 127(5): 1172-1180. DOI: 10.3171/2016.9.JNS16815.

(修回日期: 2021-10-05)

(本文编辑: 阮仕衡)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊对基金项目的有关要求

论文所涉及的课题若获得国家或部、省级以上基金资助或属攻关项目, 请以中英文双语形式脚注于文题页左下方, 如“基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2013CB532002); 国家自然科学基金(30271269); Funding: National Key Basic Research Program of China(973 Program)(2013CB532002); National Natural Science Foundation of China(30271269)”, 并请附基金证书复印件。论文刊登后获奖者, 请及时通知编辑部, 并附获奖证书复印件。