重复经颅磁刺激治疗糖尿病性周围神经病理性疼痛的疗效观察

于璐¹ 庄卫生² 马玉娟² 杨慧慧¹ 虎子颖¹

¹河南省人民医院(郑州大学人民医院)内分泌代谢病科,郑州 450003; ²河南省人民医院(郑州大学人民医院)康复科,郑州 450003

通信作者:虎子颖,Email:huziying828@126.com

【摘要】 目的 观察重复经颅磁刺激(rTMS)治疗糖尿病性周围神经病理性疼痛(DPNP)的疗效。方法 采用随机数字表法将 86 例 2 型糖尿病合并 DPNP 患者分为观察组及对照组,每组 43 例。2 组患者均给予降糖、降压等常规治疗,观察组在此基础上辅以 rTMS 治疗,磁刺激部位选择非优势侧手对应的初级运动皮质区(M1 区),磁刺激频率为 10 Hz,每天治疗 1 次,每周治疗 5 d;对照组则辅以假磁刺激治疗。于治疗前、治疗 4 周后分别采用疼痛视觉模拟量表(VAS)、患者整体印象变化量表(PGIC)对 2 组患者进行疗效评定,同时于上述时间点检测 2 组患者正中神经、腓总神经运动传导速度(MCV)及感觉传导速度(SCV)。结果 治疗后观察组疼痛 VAS 评分[(3.05±0.48)分]、PGIC 评分[(2.98±0.45)分]均较治疗前及对照组明显降低($P<0.05$),并且观察组疼痛治疗有效率(79.07%)亦显著优于对照组水平(23.26%),组间差异均具有统计学意义($P<0.05$)。治疗后观察组正中神经、腓总神经 MCV[分别为(47.65±1.94) m/s 和(46.98±3.26) m/s]均较治疗前及对照组明显增快,其差异均具有统计学意义($P<0.05$)。结论 在常规干预基础上辅以 rTMS 治疗,能显著缓解 DPNP 患者疼痛,加速受损神经功能恢复,对改善患者病情及生活质量具有重要意义。

【关键词】 重复经颅磁刺激; 糖尿病性周围神经病理性疼痛; 神经传导速度; 生活质量

基金项目:河南省卫生系统出国研修计划项目(2017075)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.06.006

Repeated transcranial magnetic stimulation for the relief of diabetic peripheral neuropathic pain

Yu Lu¹, Zhuang Weisheng², Ma Yujuan², Yang Huihui¹, Hu Ziyi¹

¹Department of Endocrinology, ²Department of Rehabilitation Medicine, Henan Provincial People's Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450003, China

Corresponding author: Hu Ziyi, Email: huziying828@126.com

【Abstract】 Objective To observe any effect of repeated transcranial magnetic stimulation (rTMS) in the treatment of diabetic peripheral neuropathic pain (DPNP). **Methods** Eighty-six persons with type 2 diabetes mellitus and DPNP were randomly divided into an observation group and a control group, each of 43. Both groups were given basic treatment to control plasma glucose and blood pressure, while the observation group was additionally provided with daily 10Hz rTMS of the primary motor cortex (M1 area) of the non-dominant hand 5 days a week for 4 weeks. Before and after the treatment, pain in both groups was evaluated using a visual analog scale (VAS) and the Patient's Global Impression Change scale (PGIC). The motor conduction velocity (MCV) and sensory conduction velocity of the median and the common peroneal nerves were also tested. **Results** After treatment, the average VAS pain rating and PGIC score of the observation group were significantly lower than the control group's averages and those before treatment. The observation group's treatment effectiveness rate (79.07%) was then much better than that of the control group (23.26%). After the treatment, the average MCV of the median and common peroneal nerves of the observation group (47.65±1.94 m/s and 46.98±3.26 m/s, respectively) were significantly faster than before treatment, and those of the control group. **Conclusions** rTMS based on routine intervention can significantly relieve DPNP and promote the recovery of injured nerves, bettering diabetics' physical condition and life quality.

【Key words】 Transcranial magnetic stimulation; Diabetes; Neuropathic pain; Nerve conduction velocity; Life quality

Funding: a Henan Province Health System Overseas Training Program Project (2017075)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.06.006

糖尿病性周围神经病理疼痛 (diabetic peripheral neuropathic pain, DPNP) 是糖尿病周围神经病变 (diabetic peripheral neuropathy, DPN) 的最常见临床形式之一, 据相关研究统计, 糖尿病人群中 DPNP 的患病率高达 53.7%^[1]; 患者主要临床特征是远端肢体对称性的持续自发性疼痛、痛觉过敏, 严重损害患者生活质量并增加死亡风险^[1]。当前临床针对 DPNP 的治疗目标包括维持血糖达标、缓解疼痛以及防治器官损伤等, 但血糖达标并不一定能缓解 DPN 症状, 临床多采用抗惊厥药、抗抑郁药或阿片类药物等进行 DPNP 镇痛治疗, 但慢性 DPNP 患者应用镇痛剂治疗的满意率仅为 30%^[2], 故临床亟待开发其他安全有效的治疗手段。

重复经颅磁刺激 (repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS) 是一种安全无创、易操作的神经调控手段, 它利用时变磁场作用于大脑皮质并产生感应电流, 能改变皮质神经元动作电位, 从而影响脑内代谢及神经电活动^[3]。rTMS 早期主要用于治疗一些精神疾病患者, 近年来也有研究将其用于治疗多种神经障碍性疾病^[3], 如偏头痛、中枢性疼痛、三叉神经痛等并取得不错疗效, 但鲜见采用 rTMS 治疗 DPNP 的临床报道。基于此, 本研究采用 rTMS 治疗 DPNP 这一特定患者群体, 并观察对其疼痛病情及生活质量的影响, 现报道如下。

对象与方法

一、研究对象

选取 2017 年 9 月至 2020 年 9 月期间在我院治疗的 86 例 2 型糖尿病合并 DPNP 患者作为研究对象。患者纳入标准包括: ①符合 1999 年世界卫生组织制订的 2 型糖尿病诊断标准及《中国 2 型糖尿病防治指南》中关于 DPN 的诊断标准^[3]; ②患者糖化血红蛋白水平 < 8%; ③神经电生理检查显示尺神经、正中神经、胫神经、腓总神经中至少有 2 条或 2 条以上神经传导速度减慢; ④存在肢体疼痛、痛觉过敏或异常的接触性疼痛, 且疼痛持续时间超过 6 个月, 多药联合治疗效果不佳; ⑤疼痛视觉模拟量表 (visual analogue scale, VAS) 评分 4~9 分; ⑥入组前治疗 DPNP 的药物 (含镇痛药物) 种类及剂量方案至少执行 4 周; ⑦年龄 > 18

岁, 右利手, 病情稳定且能配合治疗; ⑧患者对本研究知晓并签署知情同意书。

患者排除标准包括: ①患 1 型糖尿病或其他特殊类型糖尿病; ②合并糖尿病急性并发症; ③合并心、肺、肝、肾等重要器官功能障碍、精神疾病、认知功能障碍或帕金森病等; ④既往有脑卒中、脑外伤、脊髓病变等中枢神经系统疾病史; ⑤有药物滥用史或酗酒史; ⑥体内有金属植入物、神经刺激器或有癫痫病史、严重头痛史、偏头痛史等 rTMS 治疗禁忌证; ⑦孕妇或哺乳期妇女; ⑧因其它病因引起神经病变, 如颈腰椎病变、脑梗死、格林巴利综合征等; ⑨存在听力、视力或言语障碍而不能配合治疗等。本研究同时经河南省人民医院伦理学委员会审批 [2018 伦 (57) 号]。

采用随机数字表法将上述患者分为观察组及对照组, 每组 43 例。2 组患者性别、年龄、糖尿病病程、DPNP 病程、空腹血糖 (fasting plasma glucose, FPG)、餐后 2 h 血糖 (2 hours postprandial plasma glucose, 2hPG)、糖化血红蛋白 (glycosylated hemoglobin, HbA1c) 及治疗药物等一般资料情况 (详见表 1) 经统计学比较, 发现组间差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 具有可比性。

二、治疗方法

2 组患者均给予常规干预, 观察组患者在此基础上辅以 rTMS 治疗, 对照组则辅以假磁刺激治疗, 具体治疗方法如下。

1. 常规干预: 包括降糖药物治疗、糖尿病饮食指导及运动干预等。根据患者血糖水平制订降糖方案, 将 FPG 控制在 4.4~7.0 mmol/L, 2hPG 控制在 10 mmol/L 以下, 若患者血糖水平稳定, 则不调整其原先降糖方案; 若患者合并高血压, 则采用药物将其血压控制在 130/80 mmHg 以下, 老年患者则将血压控制在 150/90 mmHg 以下。研究期间 2 组患者均保持原先治疗 DPNP 的药物种类及剂量不变。2 组患者均由我院同一位营养师根据患者身高、体重、体重指数、血糖水平、合并症及并发症情况, 并结合个体生活方式和饮食习惯, 确定每天的总热量及 3 种主要营养素 (碳水化合物、蛋白质、脂肪) 比例, 为每位患者订制每周食谱。

表 1 入选时 2 组患者一般资料情况比较

组别	例数	性别 (例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	糖尿病病程 (年, $\bar{x} \pm s$)	DPNP 病程 (年, $\bar{x} \pm s$)	FPG (mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	2hPG (mmol/L, $\bar{x} \pm s$)
		男	女					
观察组	43	23	20	58.32 ± 2.01	10.42 ± 2.38	1.12 ± 0.28	6.82 ± 0.57	9.11 ± 0.53
对照组	43	26	17	58.41 ± 1.98	10.51 ± 2.40	1.15 ± 0.26	6.83 ± 0.55	9.10 ± 0.51
组别	例数	HbA1c (% , $\bar{x} \pm s$)	治疗药物 (例)					
			加巴喷丁	普瑞巴林	阿米替林	硫辛酸	胰激肽原酶	甲钴胺
观察组	43	7.25 ± 0.63	40	27	19	36	38	43
对照组	43	7.24 ± 0.62	41	26	18	37	39	43

2 组患者运动方案均由我院康复科同一运动治疗师依据相关指南推荐的运动原则^[4],并结合患者身高、体重、体重指数、血糖水平、合并症及并发症情况、心肺功能、日常工作生活习惯等制订。

2. rTMS 治疗:选用武汉依瑞德公司产 YRD CCY-II 型磁刺激仪及 8 字形线圈。在正式治疗前需先检测患者静息运动阈值(resting motor threshold, RMT)水平,采用 Keypoint4 型肌电诱发电位仪,将表面记录电极置于优势侧手拇短展肌肌腹处,参考电极置于拇短展肌肌腱部位(骨性突起处),记录电极与参考电极相距 2~3 cm;将 8 字形线圈对准患者初级运动皮质区(M1 区),磁刺激强度从 20%最大输出强度逐渐增加,每次递增 5%,直至 10 次连续刺激中至少有 5 次能诱发拇短展肌运动诱发电位波幅>50 μV 的最小刺激强度即为该患者 RMT^[5]。在进行 rTMS 治疗时患者取半卧位、身体放松,磁刺激部位选择非优势侧手对应的初级运动皮质区(M1 区),磁刺激线圈与患者颅骨表面相切,磁刺激频率为 10 Hz,磁刺激强度为 80%RMT 水平,每个序列持续刺激 2 s 后间歇 30 s,磁脉冲总量为 800 次,每次治疗持续约 21 min,每日治疗 1 次,连续治疗 5 d 为 1 个疗程,共治疗 4 个疗程。治疗期间密切注意患者状态,若出现局部疼痛、听力下降、癫痫发作等不适,须尽快调整磁刺激参数或终止治疗。对照组患者同期给予假磁刺激治疗,磁刺激部位、参数及疗程同观察组,但治疗时磁刺激线圈与患者颅骨表面垂直。

三、疗效观察分析

于治疗前、治疗 4 周后对 2 组患者进行疗效评定,具体评定内容包括以下方面。

1. 疼痛评定:选用疼痛 VAS 量表,该量表分值范围 0~10 分,0 分表示无痛,10 分表示无法忍受的剧烈疼痛,嘱患者根据其疼痛程度在横线上做标记并计分。本研究疼痛疗效判定标准如下:完全缓解——患者疼痛完全消失;明显缓解——VAS 评分较治疗前降低 $\geq 75\%$,但疼痛未消失;中度缓解——VAS 评分较治疗前降低 50%~75%;轻度缓解——VAS 评分较治疗前降低 25%~50%;未缓解——VAS 评分较治疗前降低 < 25%甚至增加^[6]。

2. 临床症状及生活质量评估:选用患者总体印象变化量表(patients' global impression of change scale, PGIC),该量表主要反映治疗后患者疼痛、情绪状态及生活质量总体变化情况,其分值范围 1~7 分,1 分表示患者症状、生活质量明显改善,2 分表示患者症状、生活质量有所改善,3 分表示患者症状、生活质量略有改善,4 分表示患者症状、生活质量无变化,5 分表示患者症状略加重,生活质量轻度受损,6 分表示患者症状有所加重,生活质量受损,7 分表示患者症状明显加重,

严重影响生活质量^[7]。

3. 神经传导速度检测:选用日本产 MEB-9202K 型肌电诱发电位仪检测患者正中神经、腓总神经运动传导速度(motor conduction velocity, MCV)及感觉传导速度(sensory conduction velocity, SCV)。该检查在我院神经电生理室内进行(由同一专业人员负责操作),检测时保持室温 25 $^{\circ}\text{C}$,肢体表面温度约 32~34 $^{\circ}\text{C}$,患者采取平卧姿势,肢体放松,在进行 MCV 检测时,表面电极作为记录及参考电极,鞍状电极作为刺激电极,刺激脉宽为 0.1 ms,刺激频率 1 Hz,带通 2~10000 Hz,分析时间 50 ms,检测患者上肢正中神经和下肢腓总神经动作电位潜伏期及波幅,并计算 MCV。在进行 SCV 检测时,表面电极作为记录及参考电极,鞍状电极作为刺激电极,选用逆向神经传导检测法,设置方波脉冲刺激强度小于 20 mV,刺激频率 1 Hz,刺激持续时间 0.1 ms,带通 20~3000 Hz,检测患者上肢正中神经和下肢腓总神经感觉神经潜伏期,并计算 SCV。

4. 不良反应情况分析:记录研究期间 2 组患者不良反应发生情况,包括头痛、癫痫发作、头晕、颈痛、听力下降等。

四、统计学方法

本研究所得计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 21.0 版统计学软件包进行数据分析,符合正态分布的计量资料组内比较采用配对样本 t 检验,组间比较采用独立样本 t 检验,计数资料(以例数或百分比表示)比较采用 χ^2 检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、治疗前、后 2 组患者 FPG、2hPG 水平比较

治疗前 2 组患者 FPG、2hPG 水平组间差异均无统计学意义($P > 0.05$);治疗后 2 组患者 FPG、2hPG 水平均较治疗前无明显改变($P > 0.05$),并且治疗后 2 组患者 FPG、2hPG 水平组间差异仍无统计学意义($P > 0.05$),具体数据见表 2。

二、治疗前、后 2 组患者疼痛 VAS 及 PGIC 评分比较

治疗前 2 组患者疼痛 VAS、PGIC 评分组间差异均无统计学意义($P > 0.05$);治疗后观察组患者疼痛 VAS、PGIC 评分均较治疗前及对照组明显降低,差异均具有统计学意义($P < 0.05$),而对照组治疗后疼痛 VAS、PGIC 评分均较治疗前无明显变化($P > 0.05$),具体数据见表 2。2 组患者疼痛治疗效果详见表 3,表中数据显示,治疗后观察组有效率为 79.07%(34/43),较对照组有效率[23.26%(10/43)]明显提高,组间差异具有统计学意义($P < 0.05$)。

三、治疗前、后 2 组患者神经传导速度比较

治疗前 2 组患者正中神经、腓总神经 MCV 及 SCV

表 2 治疗前、后 2 组患者 FPG、2hPG、疼痛 VAS 评分及 PGIC 评分比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	FPG (mmol/L)	2hPG (mmol/L)	疼痛 VAS 评分(分)	PGIC 评分(分)
观察组					
治疗前	43	6.82±0.57	9.11±0.53	6.49±0.59	4.45±0.63
治疗后	43	6.55±0.43	8.58±0.33	3.05±0.48 ^{ab}	2.98±0.45 ^{ab}
对照组					
治疗前	43	6.83±0.55	9.10±0.51	6.52±0.55	4.42±0.65
治疗后	43	6.67±0.38	8.63±0.28	6.34±0.62	4.21±0.51

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P<0.05$

表 3 治疗后 2 组患者疼痛缓解情况比较[例(%)]

组别	例数	完全缓解	明显缓解	中度缓解	轻度缓解	未缓解	有效率
观察组	43	3(6.98)	13(30.23)	11(25.58)	7(16.28)	9(20.93)	34(79.07) ^a
对照组	43	0(0.00)	4(9.30)	4(9.30)	2(4.65)	33(76.75)	10(23.26)

注:与对照组相同指标比较,^a $P<0.05$;有效率=(完全缓解例数+明显缓解例数+中度缓解例数+轻度缓解例数)/患者总数×100%

组间差异均无统计学意义($P>0.05$);治疗后观察组患者正中神经、腓总神经 MCV 均较治疗前明显增快($P<0.05$),并且治疗后观察组上述神经 MCV 亦显著优于对照组水平,组间差异均具有统计学意义($P<0.05$)。治疗后对照组正中神经、腓总神经 MCV 较治疗前无明显变化($P>0.05$)。治疗后 2 组患者正中神经、腓总神经 SCV 均较治疗前无明显变化($P>0.05$),并且治疗后 2 组患者上述神经 SCV 组间差异仍无统计学意义($P>0.05$)。具体数据见表 4。

四、2 组患者不良反应情况

研究期间观察组有 1 例患者在首次 rTMS 治疗后出现头痛症状,但程度较轻,持续约 1 h 后自行缓解,并未影响后续治疗,余患者均未报告明显不良反应。

讨 论

本研究结果显示,观察组患者经 rTMS 治疗后,其疼痛 VAS、PGIC 评分均较治疗前及对照组显著降低,正中神经、腓总神经 MCV 均较治疗前及对照组明显增快,且观察组疼痛治疗有效率亦显著高于对照组水平,表明 rTMS 治疗可缓解 2 型糖尿病合并 DPNP 患者疼痛,提高运动神经传导速度,有助于患者病情缓解及生活质量改善。

目前文献报道,rTMS 的镇痛效果与其刺激频率、刺激靶点选择有关。Lefaucheur 等^[8]通过多项研究发

现,10 Hz rTMS 治疗能有效缓解神经病理性疼痛患者疼痛;Hirayama 等^[9]比较了不同部位(包括 M1 区、前额叶背外侧区、岛叶、第二躯体感觉区等)给予 rTMS 刺激的疗效差异,发现 M1 区是治疗顽固性疼痛的有效靶区。国外专家共识^[10]也推荐采用高频 rTMS 刺激疼痛肢体对侧初级运动皮质区(M1)以缓解疼痛症状。Cozma 等^[11]研究发现 rTMS 刺激非优势侧手对应 M1 区具有镇痛作用。结合既往报道结果及相关指南推荐,本研究将 rTMS 刺激频率设定为 10 Hz,刺激部位选择非优势侧手对应 M1 区。

Onesti 等^[12]观察了高频 rTMS 对耐药性 DPNP 患者的治疗效果,发现观察组患者经 rTMS 治疗后其疼痛 VAS 评分显著降低,提示高频 rTMS 治疗能明显缓解 DPNP 患者疼痛。经皮神经电刺激用于治疗周围神经病理性疼痛疗效确切,Ahmed 等^[13]将 30 例 DPN 患者随机分为 2 组,分别给予 rTMS 和经皮神经电刺激,结果显示治疗前、后 2 组患者疼痛 VAS 评分组间差异均无统计学意义($P>0.05$),提示 2 种方案缓解 DPN 患者疼痛的疗效相当。本研究也获得类似结果,如观察组患者经 rTMS 治疗后,其疼痛 VAS 评分、PGIC 评分均较治疗前及对照组明显下降。关于 rTMS 缓解 DPNP 患者疼痛的机制可能包括以下方面:首先 rTMS 能提高大脑运动皮质细胞放电率以增强可塑性,进而诱导皮质脊髓兴奋性改变并抑制疼痛传递^[12];其次

表 4 治疗前、后 2 组患者正中神经、腓总神经 MCV 及 SCV 比较(m/s, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	正中神经		腓总神经	
		MCV	SCV	MCV	SCV
观察组					
治疗前	43	39.52±1.83	42.10±1.59	41.25±2.19	36.75±2.48
治疗后	43	47.65±1.94 ^{ab}	42.69±1.42	46.98±3.26 ^{ab}	37.69±1.89
对照组					
治疗前	43	39.47±1.86	41.98±1.62	41.31±2.14	36.71±2.50
治疗后	43	40.12±1.75	42.15±1.10	41.28±2.13	37.28±1.57

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P<0.05$

rTMS 可通过皮质-丘脑投射系统直接激发丘脑功能,从而抑制感觉信号通过脊髓-丘脑途径传导^[9];rTMS 还可通过改善脑部血流量、调节神经元电活动、调控相关神经因子表达等促进受损神经功能恢复^[14];另外 rTMS 可促进内源性阿片、 γ -氨基丁酸和脑源性神经营养因子等神经递质分泌,有助于疼痛缓解^[14]。有学者通过功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)研究发现,采用 rTMS 作用 M1 区可引起脑皮质及皮质下结构(如丘脑、前扣带回、岛叶等)发生变化,而这些结构与疼痛调节密切相关^[14],rTMS 还可能通过激活下行止痛机制、调控脊髓背角功能,使脊髓伤害性神经元兴奋性降低以减轻疼痛程度^[12]。除了调控疼痛环路外,rTMS 对与疼痛相关的情绪障碍、焦虑抑郁、认知障碍等也有改善作用^[13-14],有助于疼痛病情进一步缓解。

另外有研究得出不同结论,如 Hosomi 等^[15]将 144 例神经病理性疼痛患者分为 2 组,分别给予 rTMS 刺激和假磁刺激,结果显示治疗后 2 组患者疼痛 VAS 评分均无明显变化;Kang 等^[16]采用 10 Hz rTMS 治疗神经病理性疼痛患者,亦未发现明显镇痛效果。造成上述研究结果差异的原因可能与招募的耐药性神经病理性疼痛患者病因不同有关,具体原因还需进一步探讨。

本研究还发现,入选 DPNP 患者经 rTMS 治疗后其正中神经、腓总神经 MCV 均明显改善,与 Abdelkader 等^[2]报道结果基本一致。关于 rTMS 改善神经传导功能的作用机制可能是 rTMS 反复刺激皮质脊髓锥体束能导致脊髓神经元回路可塑性增强、血流增加,从而加速神经传导功能恢复。此外还有研究发现 rTMS 能通过调节神经元活动、调控神经相关因子表达促进受损周围神经修复及再生,有助于改善神经传导速度^[3];Hirayama 等^[9]报道 rTMS 能通过影响钙离子通道蛋白表达以促进神经细胞增殖,亦可影响 DNA 合成及 RNA 转录,从而加速受损神经功能恢复。

综上所述,本研究结果表明,rTMS 可缓解 DPNP 患者疼痛程度,加速受损神经功能恢复,对改善患者病情及生活质量具有重要意义,且安全性较好,该疗法值得临床进一步研究、推广。需要指出的是,本研究还存在诸多不足,包括样本量较少、rTMS 治疗参数有待优化、未进行长期随访等,后续研究将针对上述不足进一步完善。

参 考 文 献

- [1] Rosenberger DC, Blechschmidt V, Timmerman H, et al. Challenges of neuropathic pain: focus on diabetic neuropathy [J]. J Neural Transm, 2020, 127 (4): 589-624. DOI: 10.1007/s00702-020-02145-7.
- [2] Abdelkader AA, Gohary A, Mourad HS, et al. Repetitive TMS in treatment of resistant diabetic neuropathic pain [J]. Egypt J Neurol Psych,

- 2019, 55 (1): 30. DOI: 10.1186/s41983-019-0075-x.
- [3] Yang S, Chang MC. Effect of repetitive transcranial magnetic stimulation on pain management: a systematic narrative review [J]. Front Neurol, 2020, 11 (2): 114. DOI: 10.3389/fneur.2020.00114.
- [4] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南 (2017 年版) [J]. 中华糖尿病杂志, 2018, 10 (1): 4-67. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-5809.2018.01.003.
- [5] 杨慧慧, 阚全娥, 于璐, 等. 重复经颅磁刺激联合认知功能训练治疗糖尿病合并早期认知功能障碍的疗效观察 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2018, 40 (9): 666-670. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.09.007.
- [6] 崔剑, 陈建平, 郭芳, 等. 盐酸羟考酮缓释片在中重度成人癌痛门诊治疗中的疗效及安全性 [J]. 山西医科大学学报, 2018, 49 (3): 297-301. DOI: 10.13753/j.issn.1007-6611.2018.03.019.
- [7] 杨建花, 杨炼红, 吴榕, 等. 普瑞巴林治疗放射性臂丛神经痛的疗效研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35 (12): 925-928. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.12.009.
- [8] Lefaucheur JP, André-Obadia N, Antal A, et al. Evidence based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) [J]. Clin Neurophysiol, 2014, 125 (11): 2150-2206. DOI: 10.1016/j.clinph.2014.05.021.
- [9] Hirayama A, Saitoh Y, Kishim H, et al. Reduction of intractable deaf-ferentation pain by navigation-guided repetitive transcranial magnetic stimulation of the primary motor cortex [J]. Pain, 2006, 122 (1-2): 22-27. DOI: 10.1016/j.pain.2005.12.001.
- [10] Klein MM, Treister R, Raji T, et al. Transcranial magnetic stimulation of the brain: guidelines for pain treatment research [J]. Pain, 2015, 156 (9): 1601-1614. DOI: 10.1097/j.pain.0000000000000210.
- [11] Cozma L, Dumitrescu L, David B, et al. Non-dominant primary motor cortex repetitive transcranial magnetic stimulation for moderate to severe chronic pain caused by diabetic neuropathy: case series from a small crossover pilot study [J]. Mod Med, 2018, 25 (1): 14-17. DOI: 10.31689/rmm.2018.25.1.14.
- [12] Onesti E, Gabriele M, Cambieri C, et al. H-coil repetitive transcranial magnetic stimulation for pain relief in patients with diabetic neuropathy [J]. Eur J Pain, 2013, 17 (9): 1347-1356. DOI: 10.1002/j.1532-2149.2013.00320.x.
- [13] Ahmed GM, Maher EA, Elnassa BA, et al. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation versus transcutaneous electrical nerve stimulation to decrease diabetic neuropathic pain [J]. Int J Ther Rehabil, 2020, 27 (2): 1-10. DOI: 10.12968/ijtr.2018.0037.
- [14] Xu X, Xu DS. Prospects for the application of transcranial magnetic stimulation in diabetic neuropathy [J]. Neural Regen Res, 2021, 16 (5): 955-962. DOI: 10.4103/1673-5374.297062.
- [15] Hosomi K, Sugiyama K, Nakamura Y, et al. A randomized controlled trial of 5 daily sessions and continuous trial of 4 weekly sessions of repetitive transcranial magnetic stimulation for neuropathic pain [J]. Pain, 2020, 161 (2): 351-360. DOI: 10.1097/j.pain.0000000000001712.
- [16] Kang BS, Shin HI, Bang MS. Effect of repetitive transcranial magnetic stimulation over the hand motor cortical area on central pain after spinal cord injury [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2009, 90 (10): 1766-1771. DOI: 10.1016/j.apmr.2009.04.008.

(修回日期: 2021-10-15)

(本文编辑: 易浩)