

doi:10.3969/j.issn.1006-9852.2015.01.012

· 综述 ·

## 一种疼痛调控的新手段：经颅直流电刺激\*

王静<sup>1</sup> 万有<sup>2</sup> 李小俐<sup>1△</sup><sup>1</sup>北京师范大学脑与认知科学研究院，认知神经科学与学习国家重点实验室，北京 100875；<sup>2</sup>北京大学基础医学院神经生物学系，北京大学神经科学研究所教育部和卫生部重点实验室，北京 100191)

**摘要** 经颅直流电刺激是一种新型的非侵入性神经调控技术。微弱的直流电，通过颅骨作用于大脑皮层，提高或降低皮层的活动兴奋性。经颅直流电刺激可调节健康志愿者的疼痛阈值，改善术后疼痛，并能减轻慢性疼痛患者的疼痛。在机制研究基础上，细化和选定合适的刺激参数是今后的研究方向。

**关键词** 经颅直流电刺激；疼痛；慢性痛；神经调控技术

神经调控 (neuromodulation) 是控制急性疼痛和慢性疼痛，特别是难治性慢性疼痛的一种重要手段和有效的替代疗法。目前，侵入性的大脑神经调控手段，如深部电刺激 (deep brain stimulation, DBS)、运动皮层刺激 (motor cortex stimulation, MCS) 和非侵入性的大脑神经调控手段，如反复经颅磁刺激 (repeated transcranial magnetic stimulation, rTMS) 都已取得显著的成果。

近年来，一种新型的非侵入性方法，经颅直流电刺激 (transcranial direct current stimulation, tDCS)，由于其安全、简便、经济、方便操作等显著优点，受到广大临床和科研工作者的关注。该方法同样在疼痛研究领域取得了一定的成果。本文旨在介绍 tDCS 及其在疼痛研究中，包括对健康志愿者痛阈值，术后急性疼痛和临床中慢性疼痛调控的研究进展，并对今后的研究方向加以论述和展望。

## 1. tDCS 及其刺激模式与安全性

**tDCS 的刺激模式：**tDCS 是指通过微弱的直流电刺激大脑皮层。tDCS 的刺激器由一组电池供电，产生直流电。刺激器的阳极和阴极分别通过导线连接两个导电橡胶电极，在进行刺激时，为了增强导电性，会将浸有低浓度盐水的海绵套，包裹在橡胶电极上，用可调节的固定带，将阳极电极固定于某个大脑区域对应的颅骨位置上，将阴极电极置于远离阳极电极的不相关区域 (见图 1)。刺激过程中，使电流从阳极流出，阴极流入，形成一个环路，从

而形成该脑区的阳极刺激模式。如果调换两个电极的放置位置，则形成阴极刺激模式。通常，tDCS 的电流刺激强度为 1~2 mA，刺激时间从 5 min 到 20 min 不等。tDCS 的对照假刺激模式是施以短暂的通电，时间为 30 s，使被试产生类似真刺激的刺痛等感觉。

**tDCS 的安全性：**tDCS 与其他调控手段相比，安全性较高，这是因为 tDCS 并不直接激发动作电位，无类似 TMS 诱发癫痫发作的危险；tDCS 最常见的不良反应是在刺激过程中，头皮会伴有轻微刺痛、刺痒以及轻微头晕的感觉。这些反应会在刺激后几小时内消失，并且无任何远期的副作用，具有较高的安全性；另外，真假 tDCS 刺激不能被受试者轻易区别，因为 tDCS 刺激器不像 TMS 刺激器产

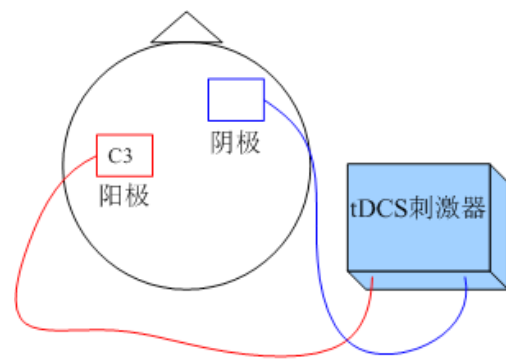


图 1 tDCS 阳极刺激左侧初级运动皮层示意图。阳极电极放置于脑电 10-20 系统中的 C3 电极位置，阴极电极放置于对侧眶上区。

\* 基金项目：国家自然科学基金项目 (81230023; 61273063)；国家杰出青年科学基金 (661025019)

△ 通讯作者 xiaoli@bnu.edu.cn

生响声。tDCS 无声的特点,使得对照实验更加真实可信<sup>[1]</sup>。

## 2. tDCS 对健康志愿者疼痛阈值的调控

tDCS 可以影响健康志愿者的疼痛感觉。研究显示对多个不同大脑区域进行 tDCS 调控都可改变疼痛阈值。

tDCS 刺激初级运动皮层对痛阈的影响:初级运动皮层(primary motor cortex, M1)是 tDCS 调控疼痛的常用靶区。这与 TMS 和 MCS 控制疼痛的常用靶部位一致。研究结果显示,阳极刺激具有提高疼痛阈值,降低疼痛感知的作用<sup>[1]</sup>。对大脑运动皮层进行刺激,可使得对侧躯体的疼痛阈值提高;与 TMS 刺激运动皮层相反,阴极 tDCS 刺激运动皮层,同样可以提高痛阈值<sup>[2]</sup>。然而,一些多模态的疼痛研究结果似乎提示,阳极刺激和阴极刺激对不同类型的疼痛具有偏向性。阳极 M1 主要调控热痛和冷痛<sup>[3]</sup>,而阴极刺激则更倾向于调制机械痛感觉<sup>[2]</sup>。此外,有报道显示,不论阳性刺激或阴极刺激 M1,对健康者的热痛均无作用<sup>[4]</sup>;我们最近的实验也显示出同样结果,由于这些实验的参数不同,统计方法也不同,因此, tDCS 刺激 M1 对疼痛的调控作用尚不能下结论,还有待于采用大样本,多中心,均一参数的实验来进一步验证。

tDCS 刺激背外侧前额叶皮层对痛阈及痛情绪的影响:除了初级运动皮层外,背外侧前额叶皮层(dorsal lateral prefrontal cortex, DLPFC)也是 tDCS 在疼痛研究中另一个常用的靶点。阳极刺激 DLPFC 提高痛阈值,从而减轻疼痛<sup>[5]</sup>,这个效应可能是降低了疼痛的情绪成分,因为影像学的结果表明 DLPFC 主要参与疼痛情绪成分。进一步的研究显示,阳极刺激 DLPFC 后,疼痛图片引起的不舒服感减轻,同时伴有皮层脑电的 beta 频段活动增强,而 alpha 频段的功率降低<sup>[6]</sup>。tDCS 刺激初级运动皮层后,也同样发现疼痛导致的不愉快感减弱,提示痛情绪的降低很可能并不是 DLPFC 的特异效应,而是疼痛感觉降低产生的伴随效果。痛情绪的改变,是疼痛减轻的原因还是疼痛减轻所致则需单独影响痛情绪的方法来进一步研究,如 tDCS 对催眠术诱导的疼痛情绪的影响。

tDCS 刺激初级感觉皮层对痛阈的影响:疼痛作为一种基本感觉,离不开初级感觉皮层的参与。研究者发现,用 tDCS 的阴极刺激模式作用于初级感觉皮层(primary somatosensory cortex, S1),可以降低对侧肢体的疼痛感觉<sup>[7]</sup>,这与初级感觉皮层活动参与疼痛加工的机制一致。另一研究还发

现,阴极刺激 S1 能够提高对侧温度觉,包括冷觉和热觉的阈值<sup>[8]</sup>,但是对热痛和机械痛阈并没有影响。这里需要提醒的是,由于 S1 的 tDCS 刺激位置在 M1 后侧几厘米,通常使用的 tDCS 电极是 5 cm×7 cm,面积较大。因此,无法排除部分电极覆盖 M1 的可能性。这种情况可以解释阴极 tDCS 刺激 S1 无效果的现象。

综上所述, tDCS 刺激多个脑区都可调控疼痛。这从另一角度表明了,疼痛感觉是多个脑区共同参与的网络活动。从这一点上来说, tDCS 不仅是神经调控手段,更是一种安全的非侵入性的研究工具,它能够检验和验证脑区的参与功能,给疼痛的脑影像学结果,提供干预性证据。

## 3. tDCS 对术后疼痛的作用

相比正常健康者痛阈的调控研究, tDCS 对术后疼痛的研究较少。有研究发现 tDCS (2 mA, 20 min)后,可以降低腹部手术后的疼痛及睡眠中的疼痛,但是并不影响病人的疼痛评分<sup>[9]</sup>。同课题组的另一个结果发现,关节手术后,给予运动皮层每次 20 min,共 4 次 tDCS 刺激后,阿片受体的药物使用量降低<sup>[10]</sup>。最新的一个随机对照实验发现,单次 tDCS (1 mA, 20 min)在 DLPFC 作用后,不论是阴极刺激还是阳极刺激,腰椎手术术后病人的吗啡用药量和病人的视觉评分法都没有改变<sup>[11]</sup>。这种差别可能来自于刺激的时程和强度,此实验的刺激强度和时间较前两者少;同时,这可能与疼痛类型有关,躯体疼痛和内脏疼痛不同。这些前期的结果都提示我们,应用 tDCS 时,其参数需要特定。

## 4. tDCS 对慢性痛的作用

慢性痛是指组织损伤后,不论原发损伤是否痊愈,疼痛长时间持续。在临床上把大于三个月以上的疼痛诊断为慢性疼痛,这是临床上常见的异常性疼痛。与急性痛不同,慢性痛状态下,大脑多个脑区发生了可塑性的改变。tDCS 对于慢性痛的应用非常重要,在这方面已经开展了大量的研究,并取得颇有价值的结果。

tDCS 刺激运动皮层对慢性痛的作用:多数研究发现, tDCS 刺激运动皮层可以改善慢性痛病人的疼痛。Fregni 早在 2006 年的双盲随机对照实验中发现,给予外伤性脊髓损伤的慢性痛病人 M1 区 2 mA, 20 min 的 tDCS,连续 5 天后,患者的疼痛减轻,焦虑和抑郁症状改变<sup>[12]</sup>。在对慢性炎症痛的患者(纤维肌痛)的实验中,同样发现,此参数的 tDCS 可以改善患者的疼痛<sup>[13]</sup>。纤维肌痛患者疼痛减轻,伴随睡眠潜伏期缩短和睡眠效能提高<sup>[14]</sup>。

对于治疗效果来说, 维持时间效果也是一个重要环节。tDCS 的后效应持续时间很长。tDCS 运动皮层 10 天后, 对纤维肌痛患者的疼痛改善作用可持续长达 60 天<sup>[15]</sup>。以上这些结果表明, tDCS 刺激运动皮层是控制慢性痛, 特别是纤维肌痛, 非常有效的手段。短期效果和远期效果都较明显。

在其他的疼痛类型上, tDCS 运动皮层也显示具有控制疼痛的作用, 包括截肢后疼痛、颜面痛和慢性盆腔痛。在一个多病种的研究中, tDCS 对三叉神经痛、中风后疼痛综合症、后背痛等均有控制疼痛作用<sup>[16]</sup>。

将 tDCS 与其他神经调控手段的结合是最新的进展之一。tDCS 与经皮电刺激 (transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS) 联合, 控制慢性疼痛的效果大于单独使用 tDCS 的效果<sup>[17]</sup>。tDCS 与行为调控的手段结合也有良好的效果。

近期的一些研究结果发现, tDCS 初级运动皮层对慢性神经病理性疼痛和慢性炎症痛并没有显示出改善和缓解疼痛的效果。经仔细研究这些结果后发现, 其中有三篇文章采用了单次 tDCS 刺激<sup>[18]</sup>; 这三个研究, 对慢性炎症痛或神经病理性疼痛患者的疼痛均采用单次 tDCS, 患者的疼痛并没有改变。众所周知, 大脑皮层的活动, 在慢性痛时发生了错误适应的可塑性改变, 致使疼痛一直持续。可以想象, 单次的微弱电流刺激, 对于改变这种已经稳定的异常变化, 其作用是微弱的。提示, tDCS 的抗痛效果依赖于 tDCS 刺激的时间、强度与皮层可塑性变化强度之间的关系。而另一篇阴性结果的文章也印证了这样的作用, 对平均病史为 21.3 年的脊髓损伤后疼痛病人, 连续 5 天 tDCS 运动皮层后 (2 mA, 20 分钟), 没有监测到明显的改善作用<sup>[19]</sup>。

在 O'Connell 报道的阴性结果中, 慢性腰痛患者的病程长短不等 (>20 年及 <5 年), tDCS 的刺激次数也是随机不等<sup>[20]</sup>。但文章中也提到, 部分患者的阳性刺激和对照假刺激有差异。是否这部分患者的病程较短且刺激次数较多? 文章中没有提供更多的关于病史和时程与疼痛的信息。在这些阴性结果报道中, 从行为学指标上, tDCS 未改变疼痛的程度。然而电生理的实验结果显示, 即使是单次 tDCS 也可以改变皮层的电活动。tDCS 可降低慢性痛患者增强的 theta 频段的活动, 减小运动皮层的兴奋性。综合以上结果, 行为学的阴性结果极有可能是因为采用了相对于可塑性改变较弱的刺激参数。以上结果告诉我们, 在确定 tDCS 对于慢性疼痛无改善效果作用的结论前, 需要仔细考虑皮层可

塑性变化的程度和选用的 tDCS 参数的大小。

tDCS 刺激 DLPFC 对慢性痛的作用: 相比较初级运动皮层的研究, DLPFC 的研究较少。目前的结果显示 tDCS 刺激 DLPFC 对慢性疼痛的缓解作用弱于 M1 的作用, 说明 tDCS 治疗疼痛具有位置特异性。采用 tDCS 刺激 DLPFC, 慢性纤维肌痛患者的疼痛并没有被缓解, 与此同时, 睡眠质量被破坏<sup>[14]</sup>。另一研究发现, 刺激 DLPFC 的缓解疼痛效应, 可持续 30 天<sup>[15]</sup>。tDCS 作用在 DLPFC 虽然也可以降低疼痛, 但是持续时间较短, 而且依赖较长的刺激时间。

### 5. tDCS 的作用机制

tDCS 的一般机制: 不同的 tDCS 刺激模式对大脑的调控作用不同。目前研究认为, 阳极刺激可以增加皮层活动的兴奋性, 而阴极刺激则是抑制皮层活动的兴奋性。阳极刺激后神经元的放电频率增加, 皮层诱发电位的幅度增高; 阴极刺激后神经元的放电频率减少, 皮层诱发电位的幅度降低<sup>[21]</sup>。因此, tDCS 能够双向调控大脑的活动。近些年来, 神经影像学 with tDCS 的结合为了解 tDCS 的作用机制提供了很多的依据。尽管 tDCS 最初被认为是调控大脑皮层的活动, 然而很多影像学的结果发现, tDCS 不仅影响电极下皮层的活动, 而且还可以改变远距离深部脑区的活动。例如 tDCS 作用于初级运动皮层后, 丘脑核团、小脑以及梭状回的活动增强; 此外, 大脑的网络功能活动也受到 tDCS 的调节, 1 mA, 20 min 或 2 mA, 20 min tDCS 均可引起功能网络重组。2 mA 阳极 tDCS 刺激 DLPFC 后, 默认网络和额顶网络中电极下的脑区与其他相联区域的功能连接增强<sup>[22]</sup>。需要指出的是, 影像学的研究结果并没发现与细胞水平上一致的极性依赖的现象, 阴极刺激后局部脑血流量并没有降低, 有些脑区包括刺激电极下的脑区反而是增强, 这可能与 BOLD 信号反映的是多个神经元及突触活动的净变化有关。

tDCS 的作用范围与电极的大小、电流强度和参考电极位置等有关。单位面积下的电流强度较大, 皮层兴奋性的变化越大, 尽管相同的电流密度对局部及远距离脑区的影响存在特别大的个体差异。Chang-Hwan Im 等人采用计算机建模的方法系统的比较了不同电极放置方式对皮层电场的影响, 结果发现最常用的 5 cm×7 cm 的 M1 — 对侧眶上区电极放置方式的最大电场主要位于大脑前额区, M1 — 颅外 (三角肌, 颊肌) 放置方式的最大电场则位于运动皮层, 而 M1 — 三角肌与 M1 — 颊肌之间无明显区别, 说明真电极与参考电极之间距离足够大时, 就不再影响作用范围<sup>[23]</sup>。tDCS 对大脑活动的

影响, 不只局限于即刻的短期效应。tDCS 的调控效果会一直持续到刺激结束后数小时甚至数天, 即为“后效应”。目前认为, 后效应的持续时间与电流强度、刺激时间以及刺激次数有关<sup>[1]</sup>。

tDCS 镇痛的机制: 虽然目前对于 tDCS 调控疼痛背后的机制尚不清楚, 但是前期的相关实验结果, 还是为我们提供了一些线索。

局部血流变化研究发现, 1 mA 的 tDCS 阳极刺激模式, 作用于初级运动皮层 10 分钟, 可激活健康受试者同侧和对侧的运动皮层<sup>[24]</sup>。在兴奋运动皮层的作用方面, 阳极 tDCS 与 TMS 的作用相似, 提示 tDCS 的镇痛机制与 TMS 的镇痛机制一致, 即通过兴奋运动皮层, 进而激活下行抑制系统, 减轻疼痛。另一项研究发现, 阳极 tDCS 后, 运动皮层与丘脑之间的功能连接增强, 进一步表明阳极 tDCS 运动皮层的镇痛机制很可能是激活丘脑髓板内核群等下行抑制系统。此外, 阳极 tDCS 初级运动皮层减少双侧的前额叶扣带回, 岛叶以及外侧前额叶皮层区域的局部脑血流量<sup>[24]</sup>。这些脑区都是痛矩阵的组成成分, 参与疼痛的加工, 特别是疼痛的情绪成分, 因此, 阳极 tDCS 运动皮层的镇痛作用还与抑制疼痛的情绪成分有关。

有意思的是阴极 tDCS 刺激初级运动皮层后, 与阳极刺激一样, 双侧运动皮层被激活<sup>[24]</sup>。这一结果可以解释阴极 tDCS 和阳极 tDCS 作用初级运动皮层均可提高痛阈的作用。神经递质水平的研究结果显示, 培高利特 (Pergolide), 一种具有多巴胺能特性的长效麦角衍生物, 可以增强阴极刺激的作用效果, 降低疼痛感觉及延迟后效应时间和疼痛诱发电位的 N2 成分幅度的作用, 表明多巴胺参与阴极刺激的镇痛作用<sup>[25]</sup>。

阴极 tDCS 刺激初级感觉皮层的镇痛作用则很可能与抑制疼痛感觉信息的加工相关。阴极 tDCS 作用于初级体感皮层后, 感觉诱发电位的 N20 成分及痛觉诱发电位的 N2 成分幅度降低<sup>[26]</sup>。初级感觉皮层是负责疼痛感觉成分的主要区域, N2 则是反应体感皮层兴奋性的指标。因此, 阴极 tDCS 的镇痛机制可能是初级体感皮层的兴奋性降低、疼痛加工抑制和痛阈值增高。

## 6. 研究展望

tDCS 是否可以有效控制急性或慢性疼痛, 是整个研究的最终目标。然而, 在这个目标之前, 还有很多问题值得探讨。从目前的研究结果来看, tDCS 对急性痛和慢性痛的作用尚存争论。究其原因来说, 源于对 tDCS 的潜在机制尚不清楚, 刺激

参数 (包括位置、强度、时间和次数) 选择的随意性。因此, 在把 tDCS 作为控制慢性疼痛的手段前, 有待于明确 tDCS 对大脑活动的调节机制。如利用动物实验, 研究 tDCS 对局部靶脑区的电生理活动特性的影响, 以及对远距离脑区活动的影响。

此外, tDCS 的调控效果与大脑背景可塑性变化程度有关。由于大脑疼痛矩阵网络可塑性的个体差异, 因此今后的研究需要结合脑影像学的方法, 如脑电图和功能核磁共振等。通过这些方法, 确定大脑异常活动的区域及其可塑性变化的程度后, 使 tDCS 特异性靶定在这个区域, 并根据可塑性变化的程度选用相应的参数。

tDCS 与其他调控手段的结合以增强 tDCS 的效果, 也是今后研究的一个方向。例如将 tDCS 与 TMS 结合, 可以通过 tDCS 提高兴奋性后, 再应用 TMS 兴奋某一脑区, 以增强调控作用。另外, 针刺治疗是我国传统医学控制疼痛十分有效的方法, 将外周电刺激和皮层电刺激结合是否会产生叠加效应, 也是值得探索的方向。

## 参 考 文 献

- [1] Nitsche MA, Cohen LG, Wassermann EM, *et al.* Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. *Brain Stimul*, 2008, 1:206 ~ 223.
- [2] Bachmann CG, Muschinsky S, Nitsche MA, *et al.* Transcranial direct current stimulation of the motor cortex induces distinct changes in thermal and mechanical sensory percepts. *Clin Neurophysiol*, 2010, 121:2083 ~ 2089.
- [3] Borckardt JJ, Bikson M, Frohman H, *et al.* A pilot study of the tolerability and effects of high-definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS) on pain perception. *J Pain*, 2012, 13:112 ~ 120.
- [4] Csifcsak G, Antal A, Hillers F, *et al.* Modulatory effects of transcranial direct current stimulation on laser-evoked potentials. *Pain Med*, 2009, 10:122 ~ 132.
- [5] Boggio PS, Zaghi S, Lopes M, *et al.* Modulatory effects of anodal transcranial direct current stimulation on perception and pain thresholds in healthy volunteers. *Eur J Neurol*, 2008, 15:1124 ~ 1130.
- [6] Boggio PS, Zaghi S, Fregni F. Modulation of emotions associated with images of human pain using anodal transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuropsychologia*, 2009, 47:212 ~ 217.
- [7] Antal A, Brepohl N, Poreisz C, *et al.* Transcranial direct current stimulation over somatosensory cortex decreases experimentally induced acute pain perception. *Clin J Pain*, 2008, 24:56 ~ 63.
- [8] Grundmann L, Rolke R, Nitsche MA, *et al.* Effects of transcranial direct current stimulation of the primary

- sensory cortex on somatosensory perception. *Brain Stimul*, 2011, 4:253 ~ 260.
- [9] Borckardt JJ, Romagnuolo J, Reeves ST, *et al.* Feasibility, safety, and effectiveness of transcranial direct current stimulation for decreasing post-ERCP pain: a randomized, sham-controlled, pilot study. *Gastrointest Endosc*, 2011, 73:1158 ~ 1164.
- [10] Borckardt JJ, Reeves ST, Robinson SM, *et al.* Transcranial direct current stimulation (tdcs) reduces postsurgical opioid consumption in total knee arthroplasty (TKA). *Clin J Pain*, 2013, 29:925 ~ 928.
- [11] Dubois PE, Osseman M, de Fays K, *et al.* Postoperative analgesic effect of transcranial direct current stimulation in lumbar spine surgery: a randomized control trial. *Clin J Pain*, 2013, 29:696 ~ 701.
- [12] Fregni F, Boggio PS, Lima MC, *et al.* A sham-controlled, phase II trial of transcranial direct current stimulation for the treatment of central pain in traumatic spinal cord injury. *Pain*, 2006, 122:197 ~ 209.
- [13] Fregni F, Gimenes R, Valle AC, *et al.* A randomized, sham-controlled, proof of principle study of transcranial direct current stimulation for the treatment of pain in fibromyalgia. *Arthritis Rheum*, 2006, 54:3988 ~ 3998.
- [14] Roizenblatt S, Fregni F, Gimenez R, *et al.* Site-specific effects of transcranial direct current stimulation on sleep and pain in fibromyalgia: a randomized, sham-controlled study. *Pain Pract*, 2007, 7:297 ~ 306.
- [15] Valle A, Roizenblatt S, Botte S, *et al.* Efficacy of anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) for the treatment of fibromyalgia: results of a randomized, sham-controlled longitudinal clinical trial. *J Pain Manag*, 2009, 2:353 ~ 361.
- [16] Antal A, Terney D, Kühnl S, *et al.* Anodal transcranial direct current stimulation of the motor cortex ameliorates chronic pain and reduces short intracortical inhibition. *J Pain Symptom Manage*, 2010, 39:890 ~ 903.
- [17] Boggio PS, Amancio EJ, Correa CF, *et al.* Transcranial DC stimulation coupled with TENS for the treatment of chronic pain: a preliminary study. *Clin J Pain*, 2009, 25:691 ~ 695.
- [18] Jensen MP, Sherlin LH, Askew RL, *et al.* Effects of non-pharmacological pain treatments on brain states. *Clin Neurophysiol*, 2013, 124:2016 ~ 2024.
- [19] Wrigley PJ, Gustin SM, McIndoe LN, *et al.* Long standing neuropathic pain following spinal cord injury is refractory to transcranial direct current stimulation: a randomized controlled trial. *Pain*, 2013, 154:2178 ~ 184.
- [20] O'Connell NE, Cossar J, Marston L, *et al.* Transcranial direct current stimulation of the motor cortex in the treatment of chronic nonspecific low back pain: a randomized, double-blind exploratory study. *Clin J Pain*, 2013, 29:26 ~ 34.
- [21] Nitsche MA, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol*, 2000, 527:633 ~ 639.
- [22] Keeser D, Meindl T, Bor J, *et al.* Prefrontal Transcranial Direct Current Stimulation Changes Connectivity of Resting-State Networks during fMRI. *J Neurosci*, 2011, 31:15284 ~ 15293.
- [23] Im C-H, Park J-H, Shim M, *et al.* Evaluation of local electric fields generated by transcranial direct current stimulation with an extracephalic reference electrode based on realistic 3D body modeling. *Phys Med Biol*, 2012, 57:2137 ~ 2150.
- [24] Lang N, Siebner HR, Ward NS, *et al.* How does transcranial DC stimulation of the primary motor cortex alter regional neuronal activity in the human brain? *Eur J Neurosci*, 2005, 22:495 ~ 504.
- [25] Terney D, Bergmann I, Poreisz C, *et al.* Pergolide increases the efficacy of cathodal direct current stimulation to reduce the amplitude of laser-evoked potentials in humans. *J Pain Symptom Manage*, 2008, 36:79 ~ 91.
- [26] Antal A, Brepohl N, Poreisz C, *et al.* Transcranial direct current stimulation over somatosensory cortex decreases experimentally induced acute pain perception. *Clin J Pain*, 2008, 24:56 ~ 63.

• 消 息 •

## 内镜与微创脊柱技术国际研讨会会议通知

脊柱微创技术得到飞速发展，为脊柱相关性疾病提供了有效、安全的治疗手段。为了促进国内脊柱微创技术的进一步提升，定于2015年5月9日~13日在北京举行“内镜与微创脊柱技术国际研讨会”。研讨会由首都医科大学宣武医院北京功能神经外科研究所主办，北京西典门诊承办，将邀请十余位国外著名脊柱微创医学专家和国内知名专家授课，就脊柱内镜技术、脊柱微创治疗和新技术等热点问题进行交流。同时，会议期间将安排两天时间举办慢性疼痛诊断和治疗讲习班。参加者将授予国家级继续教育 I 类 10 学分。欢迎国内神经外科、骨科、疼痛科、麻醉科、神经内科和康复科等相关专业的人员参加。

会议具体议程及相关信息将在近期发布，敬请关注！

联系人：陶蔚、刘强、何智超 电话：13552977114, 13801221406 邮箱：forum@jspmfm.com