

无创伤脑部刺激技术 缓解运动疲劳的机制与应用

前言

经颅直流电刺激 (Transcranial Direct Current Stimulation, tDCS) 是一种无创伤脑部刺激技术, 可以增强大脑神经兴奋性进而引起大脑功能性改变。为了研究因该技术刺激引起的脑部功能性变化对缓解运动疲劳的积极影响, 从而更好地运用于运动实践中, 本研究收集了近20年国内外有关文献, 对其进行系统全面的归纳总结, 梳理经颅直流电刺激缓解运动疲劳的作用机制。梳理结果表明如下: tDCS刺激对在恒定负荷有氧耐力训练运动疲劳感是降低的; tDCS主要通过增加运动单位的募集数量和神经肌肉的抑制效应来缓解运动员的神经疲劳; a-tDCS对提高反应时间以及缓解受疲劳负面影响的情绪具有良好效果; tDCS是MS相关疲劳的潜在治疗方法; 缓解疲劳途径中tDCS比咖啡因在促进清醒缓解疲劳方面作用更强。

关键词

经颅直流电刺激 (tDCS); 运动疲劳; 缓解机制

随着竞技体育发展, 运动员的竞技体育成绩越来越受到大众的关注。因此教练员和运动员在日常训练中遵从较高的运动强度, 尽可能地优化训练方法以提高运动员的竞技能力。而这些训练通常会改变身体的机能, 机能一旦改变就会导致身体疲劳的产生, 从而会存在对运动成绩起到反作用的潜在危害。因此抗疲劳的能力是维持重复运动模式的限制因素之一, 有效延缓疲劳产生的能量资源会促使运动表现得到进一步的提高。

就缓解疲劳这一途径而言, 前人有热水浴、温水浴和超低温冷疗恢复法、中医法、营养补充法及心理疗法等物理疗法, 但经研究发现这些方法的效果并不显著。侵入性脑刺激 (Non-invasive brain stimulation, NIBS) 出现在人们的视野并被广泛用于神经科学研究中。这是一种能够诱导给定的某大脑区域网络活动的变化来研究其在特定运动、认知或感知过程的技术, 如今逐渐被人们认知并广泛应用于神经科学研究中。尽管重复经颅直流电刺激 (rTMS) 和经颅直流电刺激 (tDCS) 这两种手段, 在临床上改变运动皮层兴奋性的不同机制中都起到了关键性的作用, 且对缓解疲劳都有着一定的效果, 但 tDCS 作为 NIBS 的一种, 它既能作为在专业运动环境中以大脑为中心恢复机体疲劳策略之一, 又能持续施加

一部分电流进入颅骨并调节大脑兴奋性且不产生动作电位, 同时也能够通过诱导神经元的极化从而调节大脑神经元静息膜电位。因此, tDCS 对缓解运动疲劳有着明显的效果。迄今为止, 针对 tDCS 可能改善身体机能机制的研究数量有限, 探究 tDCS 缓解运动疲劳的机制与应用, 结合科学的运动训练, 用于增强健康个体的身体和培养优秀体育后备人才是非常有意义的。

1 经颅直流电刺激相关概念

tDCS 是一种利用阴阳极片贴在脑部特定部位上, 再以恒定的微直流电 (1.0 ~ 2.0mA) 去诱导大脑神经可塑性和调节皮质兴奋性的非侵入性技术。使用 tDCS 时, 通常将一对海绵垫 (约 25 ~ 35cm²) 浸泡约 6 毫升盐水溶液 (在极少数情况下为水), 以 1 ~ 2mA 的直流电刺激目标部位约 20 分钟, 锥体神经元的胞体、轴突末端、突触和树突都是 tDCS 所刺激的细胞目标。所使用的电极通常是一对金属或导电橡胶, 包裹在穿孔海绵袋中, 以最大限度地减少皮肤电阻; 偶尔采用使用带有导电凝胶的橡胶电极, 这种电极的尺寸通常为 25 ~ 35cm²。tDCS 作为大脑特定研究活动区域的兴奋剂或抑制剂, 将阳极电极放置在刺激目标靶点上 (阳极

tDCS、a-tDCS)能够增加大脑神经元的兴奋性和可塑性,而阴极电极放置在刺激目标靶点上(阴极 tDCS、c-tDCS)却会诱导相反的效果。tDCS 调节运动皮层兴奋性的初步研究表明,大脑皮质兴奋性可以在 tDCS 刺激停止后依然持续存在,并且这种效应会通过增加强度和持续时间变化进而发生调节。研究表明 13 分钟连续刺激的后效可持续长达 90 分钟。电极的放置和配置不同会使结果存在差异甚至相反。前人提供了迄今为止最有力的临床证据,表明刺激的相对位置会影响每个电极下的神经调节,此外,增加电极距离可能会降低神经调节的幅度。

2 运动疲劳相关概念

国内认为运动疲劳是一种表现出通过活动导致机体消耗能源物质、机能调节紊乱和代谢异常、机体在运动过程中,生理上不能继续维持运动进行、不能维持在一定的足够水平上或不能持续稳定达到预先的运动强度。疲劳有别于“筋疲力尽”,筋疲力尽是指机体在无论是生理和还是在心理上,两者都表现出完全不能进行任何运动或无继续运动下去的欲望。国外学者认为,运动疲劳是指在长时间内进行竭尽的运动或身体要求很高的任务时发生的现象、缺少在力量失败之前增加的努力感和性能的严重损害。疲劳可能会损害运动员的认知处理,从而降低他们在需要快速决策时控制运动的能力且随着运动员进入到疲惫阶段,决策对髋关节和膝关节力学的影响变得更加明显。

3 tDCS 的作用机制

tDCS 的作用机制仍然是一个悬而未决的问题。现有的说法能总结为四个方面:tDCS 能改变大脑皮质的兴奋性、增加突触的可塑性、改变局部脑血流和调节局部皮层和大脑网络连接等方式等调节功能。

3.1 改变大脑皮质的兴奋性

经颅直流电刺激通过改变刺激大脑区域神经元的静息膜电位,调节大脑皮层兴奋性。阳极刺激(a-tDCS)促使大脑神经元静息膜电位走向去极化,而阴极刺激(c-tDCS)推动了大脑神经元静息膜电位走向超极化,即经颅直流电刺激可以引起长期持久的后效应,而静息膜电位的变化是短暂的。

3.2 增加突触的可塑性

一方面,急性效应是由膜极化引起的,对神经递质释放、尖峰时间和尖峰时间依赖性可塑性具有主要的影响;另一方面,突触可塑性与刺激强度和频率有极强的相关性,即进行

短期和长期的治疗效果与突触可塑性有关的神经发生和皮质重组有关,长时间的刺激可能会有抑制或增强作用。如脑源性神经营养因子(BDNF,一种在晚期 LTP 中很重要的神经营养因子)对于短时间直接皮质刺激的后效应极其明显。

此外,N-甲基-D-天冬氨酸受体依赖 LTP 可以通过阳极刺激进行调节,谷氨酸能活性的调节也有助于阴极刺激产生后效应,这就是 tDCS 可以产生后效应的原因。但有一点需注意,若 tDCS 提供的电流强度(1-2mA)太低,会无法直接引起大脑产生动作电位,因为 tDCS 所诱导的轴突膜电位变化不足以使神经元达到激活动作电位的阈值。

3.3 改变局部脑血流

在刺激期间增加刺激皮质兴奋性的阳极会增加与 L-DLPFC 结构密切相关的大脑网络区域内的血流灌注,而初级运动皮层区(M1)的 rCBF 在阴极刺激下显著减少,这与阴极刺激下 MEP 振幅的降低相关。

3.4 调节局部皮层和大脑网络连接

大脑皮质内和皮质间的连接有初级运动皮层(M1)、前额叶皮层(PFC)、岛叶皮层(IC)和辅助运动区(SMA)。M1 区是与运动表现最相关的区域,阳极刺激 M1 区通过增强肌体内运动和协调相关区域功能的连接,从而减少枕叶额叶耦合并增加运动相关同步性所引起大脑左右半球间连接变化,进一步证明了 tDCS 是具有可诱发脑功能的连接作用。

4 tDCS 在疲劳中的应用

神经肌肉疲劳是由于中枢和外周因素引起的。虽然与肌肉本身相关的外周疲劳是人们通常熟悉的一个因素,但中枢神经系统在运动期间不能最大限度地驱动肌肉,中枢疲劳也可能在运动训练中发挥重要作用。tDCS 能通过使刺激通过运动皮层传递缓解疲劳,并且阳极刺激能提高大脑皮质兴奋性的同时也能达到减解疲劳,还使运动耐受时间延长了将近 15%。不难看出在体育运动中发生疲劳时,可以在很大程度上缓解疲劳,预防运动训练期间损伤的发生。

国内外学者在对何种方式对疲劳缓解更有效这一问题上进行探究,他们将 tDCS 与咖啡因这两种途径相比较,得出 tDCS 对提高初级运动员反应时间以及缓解受疲劳负面影响的情绪等方面具有明显改善作用,并且在促进清醒方面比咖啡因作用更强。阳极刺激在大脑皮层运动区和前运动区对运动员在次最大强度肌肉耐力训练的后期、恒定负荷有氧耐力训练、最大速度冲刺训练的疲劳感是明显降低的,而对于降低其他运动方式,如肌肉耐力、高强度无氧耐力的疲劳

感是没有明显效果的。作者也进一步研究 tDCS 在运动员恢复中的效果,通过与神经肌肉电刺激技术(NMES)比较得出,tDCS 主要针对刺激深度从而达到神经肌肉镇痛效果;tDCS 应用于运动员疲劳恢复主要通过增加运动单位的募集数量和神经肌肉的抑制效应来舒缓运动员的神经疲劳。

足球比赛会导致心理生理指标出现短暂的紊乱,赛间的休息时间不足可能是受伤的一个重要风险因素,赛后疲劳会导致球员自我疲劳感和痛苦感增加,与此同时降低培训警觉性和动机。因此,监测恢复和使用促进恢复的干预措施得到了足球研究人员和从业者的高度重视。运动员在快速重复运动下易感疲劳,借助假对照、双盲、交叉研究将阳极刺激和假刺激应用于双侧 M1 腿部区域,同时对参与者的四肢上下部进行 20 秒敲击,表明 tDCS 能够在人们进行快速重复运动期间减少运动疲劳感;也可以将 tDCS 结合康复训练课程改善运动员赛后的幸福感和自我疲劳感。在对初级运动皮层(M1)和 800 米游泳表现测试后应用 tDCS 后,只有刺激左 DLPFC 的肛门可减少 50 米游泳表现中精神疲劳的不良反应;左侧 DLPFC 上用阳极刺激,在右侧 DLPFC 上用阴极刺激,可以增加活力并减少感知疲劳和肌肉张力。

对患有慢性疲劳的患者施加一周的以 2mA 的恒定电流持续 20 分钟,通过完成疼痛质量评估量表(PQAS)、McGill 疼痛量表、疲劳严重程度量表(FSS)和简表-36,表明 tDCS 能够缓解疼痛和疲劳。殷可意、刘宇研究 tDCS 对运动表现过程中得出 tDCS 可以改善人体运动动机,减少肌肉疼痛,调节肌肉协同做功;刺激后神经驱动增强、脊髓层级上疲

劳感会随之减少。男性精英弓箭运动员中赛前约 45 分钟,采用 2mA 电流的 tDCS 持续刺激参赛员 20 分钟并在赛前 15 分钟收集心理生理反应,参照 Brunel 情绪量表和竞争状态焦虑量表-2 修订版,得出 DLPFC 上的阳极是可以调节竞争性焦虑和压力且可能有利于在竞争情况下提高运动成绩。Brandt 等人在研究中一组使用 RS-tDCS 方案刺激背外侧前额叶皮层;一组使用左阳极 a-tDCS 刺激并进行 20 分钟的认知训练配对,借助测量信息系统(PROMIS)-疲劳简表评估疲劳来评估结果得出 tDCS 是 MS 相关疲劳的潜在治疗方法。这些都表明 tDCS 可以改善与健康相关的主观测量。

5 结论

迄今为止,根据现有证据表明,经颅直流电刺激可以被视为一种相对安全和便携式的大脑活动调节技术。对于缓解运动疲劳方面,tDCS 对在恒定负荷有氧耐力训练和进行快速重复运动期间运动疲劳感是降低的;tDCS 主要通过增加运动单位的募集数量和神经肌肉的抑制效应来缓解运动员的神经疲劳;a-tDCS 对提高反应时间以及缓解受疲劳负面影响的情绪具有良好效果;tDCS 是 MS 相关疲劳的潜在治疗方法;缓解疲劳途径中,tDCS 比咖啡因在促进清醒、缓解疲劳方面作用更强。与其他基于 tDCS 的研究相比,针对 tDCS 刺激干预运动疲劳领域的研究目前仍处于起步阶段,相关研究相对较少。因此,“tDCS 在缓解运动疲劳方面通常有效”这一结论,尚属于为时过早,应该对此技术进行客观评估并研究其是否会对人们带来负面影响。

文/刘嘉雯(福建师范大学体育科学学院,福建福州 350108)

作者简介:刘嘉雯,女,广东梅州人,福建师范大学体育科学学院硕士研究生,研究方向:体育教学体操方向。

参考文献:

- [1] 唐文静,李丹阳,等.经颅直流电刺激干预运动表现:效果及应用策略[J].体育科学,2020,40(8):74-87.
- [2] 殷可意,刘宇.无创深部定位脑刺激:提升运动表现[J].体育科学,2019,39(5):96-97.