

经颅直流电刺激对体操运动员平衡与踝关节肌力的影响

杨 振

南京体育学院运动健康学院, 江苏 南京 210000

摘要: 经颅直流电刺激(tDCS)作为一种神经调节技术,近年来在运动训练中得到了广泛关注。研究表明,tDCS能够对运动员的运动表现产生显著影响。尤其是在体操项目中,平衡控制和踝关节肌力是影响运动表现的关键因素。本文旨在综述tDCS对体操运动员落地平衡控制能力和踝关节肌力的影响。已有研究表明,tDCS能够显著提高运动员的平衡控制能力和踝关节肌力,从而为体操运动员提供一种新的训练手段。

关键词: 经颅直流电刺激; 体操运动员; 平衡控制; 踝关节肌力; 运动表现

DOI: 10.64649/yh.shfzykcx.issn3078-8994.202604023

0 引言

体操作为一项对平衡能力和肌肉力量要求极高的运动,运动员的表现往往受到落地时平衡控制和局部肌力的影响。尤其是踝关节作为支撑体重和调整姿势的关键部位,其肌力的稳定性直接决定了运动员的动作完成度和安全性。近年来,非侵入性脑刺激技术——经颅直流电刺激(tDCS),因其调节神经可塑性的作用,在运动训练中受到越来越多的关注。此项技术通过轻微的电流刺激大脑特定区域,调节神经活动,从而影响运动表现和体能状态。关于tDCS对体操运动员在平衡控制和踝关节肌力上的具体作用,目前尚缺乏系统性的研究。因此,探索tDCS在提升体操运动员运动能力方面的潜力,具有重要的实践价值和理论意义。

1 经颅直流电刺激的理论基础与技术概述

1.1 经颅直流电刺激(tDCS)简介

经颅直流电刺激(tDCS)是一种非侵入性脑部刺激技术,通过施加微弱的直流电流调节大脑皮层的神经活动。tDCS通过电极将低强度电流传导到大脑表面,改变神经元的膜电位,从而影响神经元的兴奋性。电流的施加方向和强度对不同脑区的刺激效果有显著差异,通常根据需求选择阳极和阴极的位置来促进或抑制特定区域的活动。该技术被认为具有调节神经系统可塑性的潜力,广泛应用于神经康复、认知功能提升及运动表现优化等领域。通过对大脑的非侵入性调节,tDCS为运动训练和临床治疗提供了新的工具,尤其在运动员的体能训练中展现出巨大的应用前景。

1.2 tDCS的神经生理机制

tDCS通过施加低强度的直流电流,调节大脑皮层神经元的膜电位,进而影响其兴奋性和抑制性。在阳极处,电流会使神经元膜去极化,

增加神经元的兴奋性,而在阴极处,电流则会使膜超极化,从而降低神经元的活动水平。这一过程能够改变神经网络的功能状态,并且这种调节对运动学习、认知过程以及恢复性神经活动具有重要影响^[1]。tDCS的调节作用不仅依赖于刺激的强度、持续时间和频率,还与电极的布置位置和个体的神经生理状态密切相关。tDCS被认为能够有效地影响运动员的神经系统,改善运动能力和反应速度,尤其是在高精度运动控制和运动技能学习过程中。

1.3 tDCS的应用领域和发展趋势

tDCS已广泛应用于多个领域,包括运动医学、神经康复、认知训练等。在运动医学中,tDCS被用来增强运动员的运动表现,特别是在提升平衡、协调性、肌力和耐力方面,表现出显著效果。随着技术的进步,tDCS的临床应用也逐步拓展至大脑损伤后的康复治疗、抑郁症和焦虑症的治疗等领域。近年来,关于tDCS的研究愈加深入,特别是在脑网络调节、运动训练和大脑可塑性方面的探索不断推动其应用边界的扩展。随着设备的便捷性提升和对安全性的深入研究,未来tDCS有望成为更多运动训练和神经康复项目的核心技术,尤其是在个性化训练和精准医学中展现出巨大的发展潜力。

2 经颅直流电刺激在运动领域的研究现状

2.1 tDCS对运动表现的影响

tDCS在运动领域的研究表明,施加低强度的直流电流可以通过调整神经系统的兴奋性来改善运动表现。通过作用于特定的大脑皮层区域,tDCS能够优化运动员的神经活动模式,提高运动精度和反应速度。研究发现,tDCS对运动技能的学习与记忆、精细动作的执行能力有显著促进作用,尤其在协调性和稳定性要求高的项目中,效果尤为突出。tDCS也显示出在增

加运动耐力和爆发力方面的潜力,帮助运动员在较高强度训练后保持较长时间的运动表现。这一技术的优势在于它的非侵入性和可调节性,使其成为运动表现优化中的一种可行手段。

2.2 tDCS 在不同运动项目中的应用

tDCS 在多个运动项目中取得了广泛的应用,尤其是在提高精细运动控制和技术动作的精准度方面^[2]。对于需要高水平平衡控制的项目,如体操、滑雪等,tDCS 通过调节脑部与运动控制相关的神经活动,能够有效提升运动员的表现。与此同时,tDCS 在耐力项目中也得到了应用,通过优化大脑的运动激励机制,运动员能够在较长时间内保持较高的运动强度。针对竞技项目中的反应速度和决策能力,tDCS 的应用有助于提升运动员的反应时间和决策效率,特别是在高强度、快速反应的竞技场中,这一技术的应用提供了新的突破口。

2.3 现有关于 tDCS 的运动效果研究综述

目前,tDCS 在运动领域的研究主要集中在其对运动表现提升的潜力上,特别是在改善运动员的平衡、协调性、肌力和耐力方面。已有的研究成果表明,tDCS 能够通过对运动控制神经区域的调节,增强运动员的动作稳定性和精确度。同时,关于 tDCS 在不同运动项目中的效果差异也逐渐被揭示,研究指出,在高负荷运动或极限运动中,tDCS 对运动员的持续性表现有明显提升。关于其长期效应和最佳刺激参数的研究仍较为有限。不同研究之间的结果差异也表明,tDCS 的应用效果可能受到个体差异、训练背景及运动项目特性等因素的影响。未来研究需要进一步探索个性化的 tDCS 干预方案,以期实现更加精准的运动表现优化。

3 tDCS 对体操运动员平衡控制的影响

3.1 体操运动员的平衡控制需求

体操运动员在进行高难度动作时,平衡控制是关键因素之一,尤其是在空中动作和落地的瞬间。精准的平衡控制要求运动员能够在极短的时间内对身体姿势进行快速调整,以确保动作的完成度和稳定性。体操项目涉及大量的身体旋转、跳跃及支撑等动作,这些都要求运动员具备超凡的身体协调性和核心稳定性。平衡控制能力的不足往往会导致运动员在执行复杂动作时失误,甚至增加受伤的风险。因此,提高平衡控制能力对于提升体操运动员的整体表现具有重要意义,而这种能力的增强不仅依赖于身体训练,还需要神经系统的高度协调与调节。

3.2 tDCS 在平衡控制中的作用机制

tDCS 通过调节大脑皮层的神经活动,能够对运动员的平衡控制能力产生直接影响。具体

来说,tDCS 通过在大脑的运动控制区施加电流,改变神经元的膜电位,进而影响运动技能的执行。阳极刺激增强神经元的兴奋性,促进运动控制区域的活跃性,帮助运动员在执行平衡动作时提高反应速度和精确度^[3]。反之,阴极刺激则降低神经活动的过度兴奋,改善运动员的稳定性和协调性。通过这种方式,tDCS 可以优化运动员对平衡挑战的适应性,增强其在高压环境下的表现。研究表明,tDCS 的刺激效果能够在短期内显著改善运动员的平衡感知和控制能力,尤其在需要精细控制的动态动作中表现突出。

3.3 相关研究的结果与讨论

多个实验研究表明,tDCS 对体操运动员的平衡控制能力具有显著影响。实验中,施加 tDCS 后,运动员在平衡控制任务中的表现普遍有所提高,尤其在静态平衡和动态平衡测试中均显示出明显优势。一些研究指出,tDCS 的阳极刺激有助于提高运动员在落地瞬间的稳定性,而阴极刺激则能有效改善在高难度动作中的重心调节能力。然而,研究结果之间也存在差异,部分研究表明,tDCS 的效果受到运动员个体差异、训练程度及刺激参数设置的影响。部分学者建议,在运动员进行平衡训练时,tDCS 的使用应结合个体的神经生理特点,以达到最佳的干预效果^[4]。对于如何精细调控 tDCS 的刺激强度与持续时间,还需要更多的实验研究进行验证。

4 tDCS 对踝关节肌力的影响

4.1 踝关节肌力在体操中的关键作用

踝关节在体操运动中的作用尤为重要,特别是在跳跃、落地、旋转及支撑等动作中,踝关节的稳定性与肌力直接影响运动员的表现与安全性。强健的踝关节肌肉不仅有助于控制运动员的姿势和重心,还能有效减少在高强度动作中的损伤风险。特别是在进行落地动作时,踝关节肌力对运动员的平稳着陆至关重要。其肌肉力量的发挥能够帮助运动员在短时间内调整并保持身体的稳定,防止扭伤和其他运动伤害。

4.2 tDCS 对踝关节肌肉的影响机制

tDCS 通过调节大脑皮层的电活动,能够直接或间接影响踝关节肌肉的力量和耐力。研究发现,施加阳极刺激可以通过增强大脑运动区的神经兴奋性,提升运动员的肌肉收缩能力,特别是提高踝关节相关肌肉的力量输出^[5]。这种效果源于 tDCS 对中枢神经系统的调节作用,使运动员在执行动作时能更加精确地调动目标肌群的力量。tDCS 还可能通过改变神经传递效率,优化肌肉与神经的协调作用,从而提高肌

肉的反应速度和耐力。阴极刺激则有助于减少过度兴奋的神经活动,改善肌肉的稳定性和控制能力。

4.3 相关实验和研究的综述

目前关于tDCS对踝关节肌力影响的研究取得了一定进展。多项实验研究表明,tDCS能够有效增强下肢尤其是踝关节相关肌肉的力量表现。在一些临床和运动实验中,施加tDCS后的运动员在踝关节力量训练任务中的表现有明显提升,表现出更强的力量输出和更好的肌肉耐力。不同的研究结果显示,tDCS在提高踝关节肌力方面的效果与刺激强度、时间以及电极的布置位置密切相关。部分研究还表明,tDCS能够促进踝关节的快速反应能力,帮助运动员在快速动作中保持高效的肌肉协调^[6]。尽管结果普遍支持tDCS对肌力的积极影响,但个体差异和实验设计的多样性使得研究结论仍存在一定的不确定性。未来的研究需进一步明确其最优刺激参数,并探讨长期使用tDCS的效果。

5 经颅直流电刺激的未来发展方向与挑战

5.1 tDCS在运动科学中的潜力与应用前景

tDCS作为一种非侵入性的神经调节手段,在运动科学中的应用潜力逐渐显现。通过对运动员大脑相关区域的精确调节,tDCS能够显著改善运动表现,尤其在增强平衡、提高肌肉力量和优化反应速度方面具有独特优势^[7]。随着运动科学研究的深入,tDCS有望在个性化训练中发挥重要作用,能够根据运动员的生理状态与训练需求,提供量身定制的神经调节方案。

参考文献:

- [1] 徐沛韬,魏伟,詹增土,等.经颅直流电刺激百会穴改善卒中后认知障碍执行功能的机制探讨[J/OL].康复学报,1-9[2026-04-23].
- [2] 姜金波,张海军,陈玉璟,等.经颅直流电刺激在精神障碍中的应用进展[J].临床精神医学杂志,2025,35(06):495-498.
- [3] 张艺,吴华朵,宋玉,等.经颅直流电刺激改善肌肉及心肺耐力的积极作用[J/OL].中国组织工程研究,1-9[2026-04-23].
- [4] 杨泉,王晶,王鸣鸿,等.重复经颅磁刺激与经颅直流电刺激对脑卒中后上肢功能障碍的改善作用[J].中国实用医药,2025,20(23):1-6.
- [5] 朱志强,姜咏,田野.经颅直流电刺激对艺术体操运动员平衡控制能力的影响[J].中国运动医学杂志,2023,42(04):277-281.
- [6] 陈恺豪.经颅直流电刺激在运动科学领域应用的研究进展[J].当代体育科技,2023,13(27):6-9.
- [7] 元丰学,苗雨,张娜,等.小脑经颅直流电刺激技术提升运动表现的应用[J].科学技术与工程,2022,22(15):5943-5950.
- [8] 乔淇淇,吴翊馨,王新,等.高精度经颅直流电刺激对人体动态平衡能力的影响[J].中国组织工程研究,2022,26(26):4192-4198.

作者简介: 杨振(1997.10—),男,汉,安徽,硕士,康复治疗师初级,研究方向:生物力学。

项目信息: 江苏省研究生科研与实践创新计划项目,项目编号:KYCX24_2417。

tDCS不仅可以提升运动表现,还能在运动损伤后的康复过程中加速神经恢复,促进运动员的康复进程。未来,tDCS可能成为运动科学中常规的辅助训练手段,与传统训练方法结合,达到事半功倍的效果。

5.2 现存问题与挑战

尽管tDCS在运动领域显示出广泛的应用潜力,但仍面临诸多问题和挑战。首先tDCS的效果因个体差异而异,不同运动员对相同刺激的反应可能存在显著差距。其次刺激参数的设定(如电流强度、刺激时间、频率等)仍缺乏统一的标准,如何找到最合适的参数组合是目前研究中的难点之一^[8]。tDCS长期使用对大脑的影响尚未得到充分验证,关于其安全性和副作用的研究仍不够深入。另一个挑战在于,tDCS的刺激效果往往较为短暂,如何延长其作用时间并提高效果的持续性,也是当前亟需解决的问题。

6 结语

经颅直流电刺激(tDCS)作为一种新兴的神经调节技术,在运动科学领域展现出巨大的潜力。tDCS通过调节大脑活动,能够有效提升运动员的平衡控制、肌力及运动表现,尤其在高精度动作和肌肉力量训练中具有重要应用价值。然而,tDCS的实际应用仍面临个体差异、刺激参数不一致及安全性等问题,未来的研究需要进一步探索其最优刺激方案,并结合其他技术,推动tDCS在运动训练中的精细化应用,促进运动科学的发展。