

• 专家共识 •

意识障碍康复的物理因子治疗专家共识

执笔者：陆蓉蓉

通讯作者：白玉龙, dr_baiyl@fudan.edu.cn

基金项目：国家科技部重点研发计划(2022YFC3601204, 2022YFC3601200)

共识制定专家组

陆蓉蓉	复旦大学附属华山医院
白定群	重庆医科大学附属第一医院
陈 婵	复旦大学附属华山医院
冯 珍	南昌大学附属康复医院
公维军	首都医科大学附属北京康复医院
巩尊科	徐州市康复医院
胡昔权	中山大学附属第三医院
陆 敏	华中科技大学同济医学院附属同济医院
陆 晓	南京医科大学第一附属医院康复医学中心
刘 颖	国家康复辅具研究中心
倪 隽	福建医科大学附属第一医院康复医学中心
彭 亮	中国科学院自动化研究所
许东升	上海中医药大学康复医院
王 晨	中国科学院自动化研究所
王红星	东南大学附属中大医院
王永慧	山东大学齐鲁医院
王瑜元	复旦大学附属华山医院
张丽颖	中山大学附属第三医院
招少枫	中山大学附属第八医院(深圳福田)
白玉龙	复旦大学附属华山医院

编写秘书组

何志杰、汤昕未、华艳：复旦大学附属华山医院

【摘要】 目的:制定物理因子治疗促进意识障碍康复的专家共识,为意识障碍患者物理因子治疗的选择提供指导意见。**方法:**由国家科技部重点研发计划(2022YFC3601204, 2022YFC3601200)项目组牵头制定,组成康复医学和神经科学专家团队。经多轮会议讨论,结合循证医学方法学,系统检索临床研究数据并评价证据质量,制订共识内容。**结果:**本共识聚焦于物理因子治疗促进意识障碍康复,内容包含中枢刺激(重复经颅磁刺激、经颅直流电刺激、经颅超声)、外周神经刺激(正中神经电刺激、迷走神经电刺激、三叉神经刺激)、感官刺激(光刺激治疗、音乐治疗、重力刺激)等在意识障碍康复中的应用。**结论:**本共识对物理因子治疗促进意识障碍康复治疗领域现有证据进行归纳,有助于促进该技术的临床应用,为相关研究和实践提供重要依据。

【关键词】 物理因子治疗;意识障碍;康复;专家共识

【中图分类号】R49;R741 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2025.06.001

Expert consensus on physical modalities for rehabilitation in disorders of consciousness Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200433, China

【Abstract】 Objective: To establish an expert consensus on physical modalities for promoting the rehabilitation of disorders of consciousness (DoC), providing clinical guidance for the selection of such therapies. **Methods:** Led by the National Key R&D Program of China (2022YFC3601204, 2022YFC3601200), a multidisciplinary expert team in rehabilitation medicine and neuroscience was formed. Through iterative discussions and evidence-based methodologies, clinical research data were systematically reviewed, and evidence quality was evaluated to formulate the consensus. **Results:** This consensus focuses on physical modalities for DoC rehabilitation, covering central stimulation techniques [repetitive transcranial magnetic stimulation(rTMS), transcranial direct current stimulation(tDCS), transcranial ultrasound], peripheral nerve stimulation (median nerve electrical stimulation, vagus nerve stimulation, trigeminal nerve stimulation), and sensory stimulation (photic stimulation, music therapy, gravity stimulation). **Conclusion:** The consensus synthesizes current evidence on physical modalities for DoC rehabilitation, facilitating clinical application and offering a foundation for future research and practice.

【Key words】 physical modalities; disorders of consciousness; rehabilitation; expert consensus

各种原因所致的脑损伤后意识障碍(disorder of consciousness, DoC),导致患者日常生活活动能力严重依赖,给患者、家庭和社会造成巨大负担。脑损伤后 DoC 患者目前尚无明确有效的治疗手段,现阶段 DoC 患者主要依赖于长期的康复治疗、护理和照料。我国康复医疗资源有限,如何为 DoC 患者分配合理的康复医疗资源,也为临床医生与社会带来了医学伦理问题。因此,精准评价 DoC 患者的意识水平、可靠准确的预测康复结局、探索创新的促醒治疗方法、制定合理的康复治疗方,已成为康复医学领域的一大挑战。

目前对于意识障碍患者的治疗尚无行之有效的治疗方案,临床上常用的治疗方案包括药物治疗和物理因子治疗。物理因子通常包括温度刺激(冷、热)、机械刺激(超声波、冲击波、力学刺激)、电磁刺激(直流电、低频电、中频电、高频电、磁刺激)、光刺激(红外线、紫外线、激光)等。物理因子能针对 DoC 患者的各种临床问题,例如肺部感染、胃潴留、尿潴留、肌肉萎缩、痉挛、关节挛缩、压疮、疼痛、局部炎症等进行治疗^[1]。物理因子治疗一般为无创性治疗,目前广泛应用于 DoC 临床康复中,除了解决 DoC 合并的临床问题外,物理因子治疗还能增加 DoC 患者外周感觉刺激,并可能通过潜在的神经机制对中枢神经系统产生影响。

本专家共识旨在探讨临床常用的无创物理因子刺激对促进 DoC 患者意识水平恢复的潜在作用和可能的机制,结合相关研究报道和临床经验,为无创物理因子刺激应用于 DoC 康复治疗提供建议。

1 共识制定方法

本共识主要由国家科技部重点研发计划(2022YFC3601204, 2022YFC3601200)项目组制定,专家选择遵循专业性、权威性和多学科的原则,由项目组组织的康复医学和神经科学等领域多学科专家组成。经多轮会议讨论,结合项目研发过程中的经验和结果,在循证医学方法学的指导下,通过系统检索临床研究数据、评价临床证据及判断证据质量,再经讨论后制订,以期为 DoC 患者的物理因子治疗方案的制定提供指导意见。

本共识通过检索 PubMed、Embase、Web of Science 等英文数据库以及中国知网、万方数据库、维普数据库等中文数据库,纳入基于物理因子治疗 DoC 的研究文献,参考牛津循证医学中心(Oxford Centre for Evidence-Based Medicine, OCEBM)证据等级评价系统对证据质量进行评价。采用 2009 年更新制定的版本,并依据临床证据分级标准和推荐

强度系统将循证等级划分为5级(1~5级),推荐强度采用A~D(从强到弱)。最终纳入文献55篇^[9-15,17-27,30-35,38,40,43-50,53-56,61-63,66-72,89,90,92-96]。

2 意识障碍的定义和分类

意识由意识水平与意识内容两部分组成:意识水平即意识清醒的程度,依赖于脑干网状上行激活系统维持大脑皮质的觉醒状态;意识内容是个体对自我认知、对环境感知以及个体与环境相互联系的全部映像、以及映像表达形式的总和,依赖于大脑皮层结构的完整性。

DoC是由颅脑外伤、脑出血、脑梗死、各种原因引起的缺氧缺血性脑病、中毒性或代谢性脑病、脑炎等中枢神经系统病损所致的广泛脑组织损害,导致意识水平与意识内容的损害。根据《2018年版美国意识障碍实践指南》与《欧洲昏迷与意识障碍诊断指南》(2020版)^[2-3],目前,临床可以根据认知与运动功能两个维度,将DoC分为以下几种主要类型^[4](见图1):①无反应觉醒综合征(unresponsive wakefulness syndrome, UWS):也称为植物状态(vegetative state, VS),患者觉醒、但无意识内容,可睁眼,存在睡眠-觉醒周期,仅存在反射动作,如磨牙、呻吟、打哈欠等;②微小意识状态(minimally conscious state, MCS):患者表现出可重复的意识内容征象,但症状可能波动,根据语言加工能力分为MCS-和MCS+;MCS-:存在非反射性运动,如视物追踪、伤害性刺激定位、摆弄物件等;MCS+:能部分遵嘱,有意义的发声,有目的性但无功能的沟通等;MCS*:临床行为学评分提示UWS,但神经功能影像,如正电子发射断层成像(positron emission tomography, PET)提示患者皮层(如额顶叶)代谢部分保留,或任务态功能磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)提示任务相关脑区激活(如运动皮层激活)^[9]。③认知运动分离(cognitive motor dissociation, CMD):患者临床表现可以为昏迷、UWS或MCS-,但任务态fMRI或脑电图(electroencephalogram, EEG)提示患者可以稳定地根据指令进行运动想象任务,其潜在的认知能力存在广泛的不确定性。④脱离微小意识状态(emergence from MCS, EMCS):可进行一定的功能性沟通,或使用2种或以上的不同物品,可能仍存在较严重的认知障碍。

3 物理因子治疗在DoC康复中的应用

3.1 中枢刺激

3.1.1 重复经颅磁刺激 重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)通过连续发

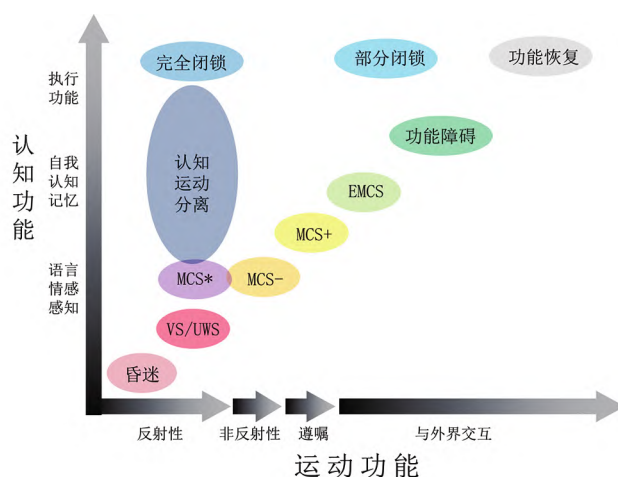


图1 运动功能、认知功能两个维度与DoC分型的关系^[4]。

注:VS:植物状态;UWS:无反应觉醒状态;MCS:微小意识状态;EMCS:脱离微小意识状态

放一定频率和强度的磁刺激脉冲在大脑皮层形成感应电流,可以调控刺激局部以及功能相关远隔区域的神经递质、皮层兴奋性、脑血流、脑代谢和脑功能连接变化^[6-8]。已有多篇系统综述和Meta分析证实了rTMS对DoC的康复疗效^[9-15]。DoC的恢复与前额叶中央环路和额顶网络相关^[16],因此rTMS的干预靶点多位于前额叶和额顶叶。3项研究发现高频rTMS作用于左侧前额叶背外侧皮质(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)可改善DoC患者的行为学评分^[17-19],刺激频率10~20Hz,刺激强度90%~100%静息阈值,50~100个脉冲1组,间隔15~60s,总脉冲数在1000以上(推荐强度B/2a),有一项研究发现右侧DLPFC的高频rTMS也可改善VS患者的意识水平^[20],刺激频率10Hz,刺激强度100%静息阈值(推荐强度B/3b)。另有几项研究选取初级运动皮质(primary motor cortex, M1)作为干预靶点^[21-24],但不同研究间的设计方法和结果存在较大异质性,暂无法给出推荐意见。此外,也有个别研究探索了角回、顶叶和后顶叶皮质(posterior parietal cortex, PPC)为刺激靶点对意识恢复的作用,结果提示上述靶点的高频rTMS干预均有一定的促醒作用^[25-27]。综上,rTMS作为一种无创神经调控技术推荐应用于DoC的康复,但仍需多中心、大样本量的随机对照研究以明确和优化刺激参数及靶点。

3.1.2 经颅直流电刺激 经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)治疗是一种利用恒定、低强度直流电(0.5~2.0mA)调节大脑皮质神经元活动的非侵入性神经调控技术,其主要作用机制是对神经元膜电位进行阈下调制及改变大脑皮质兴奋性^[28]。tDCS还能通过影响神经递质变化、改变突触

可塑性及调节皮质下脑网络功能连接等促进神经功能恢复^[29]。有2项以左侧 DLPFC 为 tDCS 阳极干预靶点的研究证实, MCS 患者或能更多得益于该项治疗, 另外还发现, 其意识改善可能与注意力资源分配的改善相关^[30-31], 电流强度 2mA, 刺激时间 20min, 1~2 次/d, 共计 10d(推荐强度 B/2b); 2 项研究证实 tDCS 作用于双侧 M1 区能改善 MCS 患者的意识水平^[32-33], 电流强度 2mA, 刺激时间 40min, 1 次/d, 共计 10d(推荐强度 B/2b); 2 项研究证实将 HD-tDCS 作用于楔前叶可促进 MCS 患者的意识恢复^[34-35], 电流强度 2mA, 刺激时间 20min, 1~2 次/d, 共计 14d(推荐强度 B/2b)。虽然将 tDCS 用于 DoC 患者的促醒治疗可观察到一定的临床疗效, 但是尚未形成统一的临床干预方案, 未来还需要进一步设计高质量的随机对照研究明确最佳干预靶点。

3.1.3 经颅超声疗法 经颅超声疗法是使用低强度具有治疗作用的超声(低于 3W/cm²), 穿过颅骨直接作用于脑病变部位, 通过改善脑血液循环和提高脑细胞代谢水平, 调节脑功能, 治疗脑部疾病的方法。目前认为其主要的机制其一是溶栓以及改善局部微循环, 达到挽救“过渡带”的目的^[36]; 其二是通过调节局部兴奋性, 改善患者脑功能^[37]。Monti 等^[38]报道了通过使用低强度经颅超声聚焦于丘脑, 上调皮质-纹状体-苍白球-丘脑-皮质通路兴奋性, 从而改善 DoC 患者的意识状态(推荐强度 C/4)。目前经颅超声治疗在 DoC 患者的临床应用多为病例报道, 因此, 缺少相关的临床研究证据可以纳入 DoC 患者的长期康复计划, 但就目前的结果而言, 经颅超声疗法仍然是一项具有潜力的治疗。

3.2 外周神经电刺激

3.2.1 正中神经电刺激 脑干上行网状激活系统(ascending reticular activating system, ARAS)是维持觉醒的重要结构, 而刺激腕部正中神经可以实现正中神经→脊神经→颈段脊髓→脑干→丘脑→皮层的逐步激活, 即激活 ARAS, 进而促进意识的恢复^[39]。正中神经电刺激(median nerve electrical stimulation, MNES)可能通过基因调控中枢神经系统相关神经递质^[40], 增加食欲素-A 蛋白及其受体的表达^[41-42], 提高 DoC 患者的脑血流量, 从而产生促醒作用^[43]。MNES 属于无创外周神经电刺激, 具有便携、经济、安全性高的特点, 利用 MNES 测量的上肢体感诱发电位可以辅助判断 DoC 患者的预后, 而 MNES 作为治疗手段应用于 DoC 康复已有 20 余年, 但多数研究纳入的患者病程较短, 且多为昏迷患者^[44], 而针对 DoC 的研究数量较少^[13]。已有系统综述和 Meta 分析评价了 MNES

对 DoC 恢复的作用, 其中多数研究选取右侧正中神经作为刺激靶点。两篇未将中文数据库列入搜索范围的研究结果均提示, 由于纳入研究数量较少、高偏倚风险, 无法对 MNES 是否有助于促醒得出确切结论^[45-46], 而另一项涵盖中文数据库搜索结果的研究则显示 MNES 可能提高 DoC 患者行为学评分、改善功能预后、缩短住院时间, 有益于 DoC 患者意识的恢复^[47]。电流强度 15~20mA, 刺激时间 8~12h, 频率 40Hz, 波形为不对称双相波。近年也有一些研究探索了 MNES 联合重复经颅磁刺激或高压氧对 DoC 的疗效^[48-49], 结果均提示联合治疗优于单一干预方案。综合现有证据, MNES 可作为昏迷或 DoC 早期患者促醒的辅助手段, 但对于 DoC 的康复疗效还有待进一步研究明确(推荐强度 B/3a)。

3.2.2 迷走神经刺激 迷走神经刺激可分为侵入性和非侵入性两种形式, 其中经皮耳廓迷走神经刺激(transcutaneous auricular vagus nerve stimulation, taVNS)是目前临床上最常用于 DoC 促醒的非侵入性电刺激技术, 现仅有一项研究初步探索了无创迷走神经磁刺激用于 DoC 治疗的可行性^[50]。耳廓支是迷走神经到达体表的唯一分支, 其接收信息传入后经过颈神经节到迷走神经干最后与孤束核相连, 激活延髓尾侧腹外侧区和背侧运动核, 进而调节中枢自主神经活动^[51]。自 2017 年 taVNS 逐渐被应用于 DoC 的治疗, 基于迷走神经皮质通路模型^[52], taVNS 产生促醒作用的可能机制包括: 通过激活 ARAS、激活丘脑、重建皮质-纹状体-丘脑-皮质环路、激活突显网络以增强外部网络和默认网络的负连接、通过去甲肾上腺素途径增强外部网络连接、通过 5-羟色胺途径增强默认网络连接。此外, 基础研究发现 VNS 可能通过减少细胞凋亡、调节神经递质、减少炎症反应和保持血脑屏障完整性在 DoC 的康复中发挥作用^[53]。目前 taVNS 的临床研究尚处于可行性和探索阶段^[54], 仅有共计不足 10 项的随机对照研究和病例报道, 现有的研究结果提示 taVNS 可能通过改善 DoC 患者脑功能网络连接, 进而提升其临床行为学评分^[55-56], 是一种有潜力的促醒治疗方法。刺激频率 20~30Hz, 电流强度 0.5~6mA, 刺激时间 250~500us, 20~30min/次, 1~2 次/d, 持续 4~6 周。taVNS 的不良反应发生率较植入性 VNS 低, 但由于 DoC 患者无法交流, 临床应用时仍需警惕自主神经等相关并发症的发生(推荐强度 B/3a)。

3.2.3 三叉神经刺激(trigeminal nerve stimulation, TNS) 三叉神经与脑血管系统、边缘系统、内嗅皮层、三叉神经中脑核、延髓背角等许多关键脑区有连接。TNS 产生的神经冲动通过这些连接在中枢神经

和脑血管系统内可引起局部效应,包括扩张脑血管、调节脑代谢和神经传递、减少炎症反应,以及通过影响自主神经系统产生全身效应^[57]。动物研究显示 TNS 可显著激活意识障碍模型大鼠下丘脑外侧和三叉神经脊束核,提高其意识水平和脑电活动^[58];还可减少严重脑外伤大鼠海马中淀粉样蛋白的前体蛋白,并促进其认知恢复^[59]。临床研究提示,TNS 可增加健康受试者皮层神经元脑电信号的信噪比,使其在较低的神经过度激活水平下完成 Oddball 任务^[60]。在 DoC 患者中,TNS 干预可能通过增加局部脑代谢进而改善其行为学表现^[61]。最近有研究表明,多模态声电 TNS(即与 TNS 同步进行音乐刺激)可有效改善 DoC 患者的改良昏迷恢复量表(coma recovery scale-revised, CRS-R)评分和振荡性脑活动^[62],而皮层间功能连接的改变可能是其潜在的作用机制^[63-64]。TNS 在 DoC 康复中的应用仍处于探索阶段,仅有的几项小样本量研究提示 TNS 对促醒可能有效,TNS 应用于 DoC 患者中的安全性问题(例如如何避免潜水反射等可能的副作用)仍需更多研究验证(推荐强度 C/4)。

3.3 感官刺激

3.3.1 音乐治疗 音乐治疗是一个系统的干预过程,在这个过程中,治疗师利用音乐体验的各种形式,以及在治疗过程中发展起来的、作为治疗的动力的治疗关系,帮助被治疗者达到健康的目的。音乐治疗主要分为接受式、主动式以及混合式三种形式。人类大脑对音乐的加工不仅涉及听觉皮层,还涉及颞叶、额叶、顶叶、小脑和边缘系统的巨大双边网络,这些脑区管理听觉感知、句法和语义处理、注意力和记忆、情绪和情绪控制以及运动技能^[65]。音乐治疗改善 DoC 患者的具体机制可能是通过激活下丘脑-脑干自主神经系统轴,影响脑网络或备用神经网络,从而达到改善 DoC 患者意识状态的目的^[66]。但是对于音乐治疗的选择,主流是选用患者喜欢的或者有重大意义的音乐或歌曲。但仍有一些不同的选择,比如:①是用患者发病前喜欢的音乐抑或是厌恶的音乐^[67]? ②是治疗师现场演唱音乐抑或是录音播放^[68]? ③是歌曲抑或是纯音乐^[69,70]? 还是无旋律的特定频率或波形的声音^[71]? 虽然音乐治疗的具体细则尚未特别明确哪种表现形式更加有效,但即便是接受古典音乐治疗,也能够影响 MCS 或 UWCS 患者^[72]。但是目前音乐治疗对意识障碍患者的疗效评价研究较少,有待于进一步验证。鉴于该干预几乎没有禁忌症和不良反应,可以纳入 DoC 患者的长期康复计划中(推荐强度 C/4)。

3.3.2 光刺激治疗 光刺激治疗,又称光疗、光照疗法或明光疗法,是暴露于直射阳光或控制波长的人工

光下,以治疗各种疾病的一种方法。光疗对脑损伤后 DoC 患者的疗效和机制尚不明确。目前普遍认为与昼夜节律改善有关。近年来,昼夜节律在人类生理和病理学中的核心作用引起了越来越多的关注。昼夜节律由下丘脑的视交叉上核节律性驱动,并通过神经和体液信息传递给中枢和外周组织器官^[73]。昼夜节律紊乱,导致基因表达、细胞分裂、激素分泌和免疫力的改变,以及睡眠/清醒周期、认知功能、情绪、心血管和胃肠功能等综合功能的改变^[74-75]。对于非 DoC 的脑损伤患者,稳定的意识状态总是伴随着正常的环昼节律^[76-77]。DoC 患者通常遭受大脑半球和连接的广泛损害,导致意识受损,但下丘脑和脑干结构的相对保留可维持唤醒和自主功能^[78]。其可表现出类似于睡眠和清醒周期的闭眼和睁眼期。然而,DoC 患者可能缺乏典型的神经生理睡眠模式^[79-81]。此外,研究显示,睡眠纺锤波的出现、快速眼动睡眠、睡眠慢波均与意识临床评分呈正相关^[82-84]。结构化的睡眠与积极的 DoC 预后相关^[85]。光疗法可以有效改善睡眠障碍和情绪障碍患者的昼夜节律,从而促进身体和心理功能的恢复^[86-88]。但在脑损伤后 DoC 患者中,临床报道较少。Blume 等^[89]在 8 名 DoC 患者身上进行了为期 1 周的明亮光刺激试验,发现了干预后昼夜体温节律改善,并且有 2 名患者的 CRS-R 评分提高;Yel-den 等^[90]对 10 例 DoC 患者进行了为期 5 周的早晨蓝光+咖啡因干预+晚间褪黑素干预后,褪黑素昼夜节律较前改善,7 名 DoC 患者出现 CRS-R 评分提高,且所有受试者表现出任务态 EEG 检测的改善。目前光疗应用于 DoC 患者治疗的临床依据较少,但这种简单且廉价的干预措施,几乎没有禁忌症和不良反应,对眼组织具有较好的安全性^[91],建议纳入 DoC 患者的长期康复计划中(推荐强度 C/4)。

3.3.3 重力刺激 通过倾斜床、站立床或站立架等手段对 DoC 患者进行治疗已经是临床常规开展的治疗项目,旨在提高意识水平并预防或治疗并发症,如肺部感染、压疮、体位性低血压和足踝畸形等。Krewer 等^[92]针对 50 名脑损伤后 DoC 患者的研究发现,在为期 3 周的时间内进行 10 次、每次 1h 的体位垂直化训练,使用带倾斜床的机器人下肢训练组 CRS-R 中位进步 2 分,常规站立床组中位进步 5 分,使用不同垂直化设备的治疗效果并无差异。一项系统综述纳入了包含 233 名 DoC 患者的 10 项研究,提示通过站立床/站立架进行重复被动直立体位或改善意识水平^[93]。这一观点与另一项前瞻性随机对照试验一致,该研究纳入 47 例 DoC 患者,发现被动直立时间与 CRS-R 改善呈显著相关,但带倾斜床的下肢机器人对比标准站立床

训练并无优势^[94]。这些研究表明,直立体位训练可能是 DoC 患者的一项重要而可行的康复干预措施,而直立的方法并不重要。但这些临床研究结论普遍受限于较小的样本量,而且缺乏神经影像学检查或神经电生理检测等客观评价方法,且因伦理问题无法设置空白对照组,因此,证据强度有限。尽管现有证据不足,但考虑到临床经验、潜在积极效果以及对患者可能带来的低风险,直立体位训练仍应被视为改善意识水平的重要康复干预措施。直立体位训练促进 DoC 意识水平恢复的机制尚不清楚。经验认为直立体位可以降低 DoC 患者长期卧床的相关并发症,如肺部感染等,去除这些阻碍意识水平恢复的不利因素可能促进意识水平恢复^[95];直立体位训练还可能提高心肺适应性, Riberholt 等^[96]研究提示,随着站立床训练次数的增加,训练前后血压、心率、呼吸监测提示亚急性脑损伤患者直立耐受度可增加,同时伴有觉醒度的改善;其可导致前庭系统向大脑传递运动变化的信号增多,因此改变姿势可能会增加警觉度,直立体位可能会激活姿势维持相关肌群,并可能通过牵拉紧张或痉挛肌肉而增加本体感觉输入,或进一步刺激大脑活动;此外,直立训练还可能通过相对于卧床的丰富外界环境刺激,促进 DoC 患者意识水平恢复(推荐强度 A/1a)。

4 总结与展望

物理因子治疗在意识障碍康复中是一个备受关注的领域,其可以通过促进大脑的神经可塑性、改善意识水平和意识内容、促进患者整体康复进程、提供个性化的康复治疗方

案,进而改善意识障碍患者的意识水平及其他功能恢复。

物理因子治疗意识障碍领域的未来发展方向包括:①个性化治疗策略:未来的物理因子治疗将更加注重个体化,利用先进的技术和方法,根据患者的病情、康复需求和生理特征,制定个性化的治疗方案,以提高治疗效果;②脑科学和神经技术的应用:随着对脑科学和神经技术的不断深入研究,未来可能会出现更精准、更有效的物理因子治疗方法,如脑电刺激、神经反馈治疗等,以促进神经系统的康复和修复;③智能化辅助治疗:利用人工智能和智能化技术,未来的物理因子治疗可能会更加智能化和自适应,通过实时监测患者的生理参数和康复进展,提供个性化的康复指导和支持;④跨界合作与创新:物理因子治疗将更多地与其他领域如工程学、生物技术等进行跨界合作,以促进技术创新和治疗方法的不断改进,为意识障碍患者提供更好的康复服务。

尽管物理因子治疗在促进意识障碍康复中具有巨

大的潜力,但也面临一些挑战,例如治疗的安全性、有效性和成本效益等方面的问题。在临床实践中,机遇和挑战并存,如何协调好两者之间的联系,让这项治疗技术更多的造福意识障碍患者,是我们需要为之努力的方向。

【参考文献】

- [1] 中国残疾人康复协会,中国康复医学会,中国康复研究中心. 慢性意识障碍康复中国专家共识[J]. 中国康复理论与实践, 2023, 29(2):125-139.
- [2] Giacino J T, Katz D I, Schiff N D, et al. Practice Guideline Update Recommendations Summary: Disorders of Consciousness; Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology; the American Congress of Rehabilitation Medicine; and the National Institute on Disability, Independent Living, and Rehabilitation Research[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2018,99(9):1699-1709.
- [3] Kondziella D, Bender A, Diserens K, et al. European Academy of Neurology guideline on the diagnosis of coma and other disorders of consciousness[J]. European journal of neurology, 2020, 27(5):741-756.
- [4] Thibaut A, Schiff N, Giacino J, et al. Therapeutic interventions in patients with prolonged disorders of consciousness[J]. The Lancet Neurology, 2019,18(6):600-614.
- [5] Thibaut A, Panda R, Annen J, et al. Preservation of Brain Activity in Unresponsive Patients Identifies MCS Star[J]. Ann Neurol, 2021,90(1):89-100.
- [6] Hoogendam J M, Ramakers G M J, Di Lazzaro V. Physiology of repetitive transcranial magnetic stimulation of the human brain [J]. Brain Stimulation, 2010,3(2):95-118.
- [7] Kricheldorf J, Göke K, Kiebs M, et al. Evidence of Neuroplastic Changes after Transcranial Magnetic, Electric, and Deep Brain Stimulation[J]. Brain Sciences, 2022,12(7):929-932.
- [8] Huang W, Chen Q, Liu J, et al. Transcranial Magnetic Stimulation in Disorders of Consciousness: An Update and Perspectives [J]. Aging Dis, 2023,14(4):1171-1183.
- [9] Liu Z, Zhang X, Yu B, et al. Effectiveness on level of consciousness of non-invasive neuromodulation therapy in patients with disorders of consciousness: a systematic review and meta-analysis [J]. Frontiers in human neuroscience, 2023,17:1129254.
- [10] Dong L, Li H, Dang H, et al. Efficacy of non-invasive brain stimulation for disorders of consciousness: a systematic review and meta-analysis [J]. Frontiers in neuroscience, 2023, 17: 1219043.
- [11] Yang Z, Yue T, Zschorlich V R, et al. Behavioral Effects of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Disorders of Consciousness: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Brain Sci, 2023,13(10):1362.
- [12] O'Neal C M, Schroeder L N, Wells A A, et al. Patient Outcomes in Disorders of Consciousness Following Transcranial Magnetic Stimulation: A Systematic Review and Meta-Analysis of Individu-

- al Patient Data[J]. *Front Neurol*, 2021,12:694970.
- [13] Wan X, Zhang Y, Li Y, et al. An update on noninvasive neuromodulation in the treatment of patients with prolonged disorders of consciousness[J]. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, 2024, 30(5):14757.
- [14] Li Y, Li L, Huang H. Effect of non-invasive brain stimulation on conscious disorder in patients after brain injury: a network meta-analysis[J]. *Neurological Sciences*, 2023,44(7):2311-2327.
- [15] Hu Y, Hu L, Wang Y, et al. The effects of non-invasive brain stimulation on disorder of consciousness in patients with brain injury: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trial[J]. *Brain Research*, 2024,1822:148633.
- [16] Edlow B L, Claassen J, Schiff N D, et al. Recovery from disorders of consciousness: mechanisms, prognosis and emerging therapies[J]. *Nat Rev Neurol*, 2021,17(3):135-156.
- [17] He R H, Wang H J, Zhou Z, et al. The influence of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on endogenous estrogen in patients with disorders of consciousness[J]. *Brain Stimul*, 2021,14(3):461-466.
- [18] Chen J M, Chen Q F, Wang Z Y, et al. Influence of High-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Neurobehavioral and Electrophysiology in Patients with Disorders of Consciousness[J]. *Neural Plast*, 2022,2022:7195699.
- [19] Fan J, Zhong Y, Wang H, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation improves consciousness in some patients with disorders of consciousness[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2022,36(7):916-925.
- [20] Ge X, Zhang Y, Xin T, et al. Effects of 10 Hz repetitive transcranial magnetic stimulation of the right dorsolateral prefrontal cortex in the vegetative state[J]. *Exp Ther Med*, 2021,21(3):206.
- [21] Shen L, Huang Y, Liao Y, et al. Effect of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation over M1 for consciousness recovery after traumatic brain injury[J]. *Brain Behav*, 2023,13(5):e2971.
- [22] Liu X, Meng F, Gao J, et al. Behavioral and Resting State Functional Connectivity Effects of High Frequency rTMS on Disorders of Consciousness: A Sham-Controlled Study[J]. *Front Neurol*, 2018,9:982.
- [23] He F, Wu M, Meng F, et al. Effects of 20? Hz Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Disorders of Consciousness: A Resting-State Electroencephalography Study[J]. *Neural Plasticity*, 2018,2018:5036184.
- [24] Cincotta M, Giovannelli F, Chiaramonti R, et al. No effects of 20? Hz-rTMS of the primary motor cortex in vegetative state: A randomised, sham-controlled study[J]. *Cortex*, 2015,71:368-376.
- [25] Legostaeva L, Poydasheva A, Iazeva E, et al. Stimulation of the Angular Gyrus Improves the Level of Consciousness[J]. *Brain Sci*, 2019,9(5):103.
- [26] Wan X, Zhang Y, Li Y, et al. Effects of parietal repetitive transcranial magnetic stimulation in prolonged disorders of consciousness: A pilot study[J]. *Heliyon*, 2024,10(9):e30192.
- [27] Xu C, Wu W, Zheng X, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation over the posterior parietal cortex improves functional recovery in nonresponsive patients: A crossover, randomized, double-blind, sham-controlled study[J]. *Front Neurol*, 2023,14:1059789.
- [28] Purpura D P, McMurtry J G. Intracellular activities and evoked potential changes during polarization of motor cortex[J]. *Journal of Neurophysiology*, 1965,28(1):166-185.
- [29] Di Lazzaro V, Manganelli F, Dileone M, et al. The effects of prolonged cathodal direct current stimulation on the excitatory and inhibitory circuits of the ipsilateral and contralateral motor cortex [J]. *J Neural Transm (Vienna)*, 2012,119(12):1499-1506.
- [30] Zhang Y, Song W, Du J, et al. Transcranial Direct Current Stimulation in Patients with Prolonged Disorders of Consciousness: Combined Behavioral and Event-Related Potential Evidence[J]. *Front Neurol*, 2017,8:620.
- [31] Bai Y, Xia X, Kang J, et al. TDCS modulates cortical excitability in patients with disorders of consciousness[J]. *Neuroimage Clin*, 2017,15:702-709.
- [32] Straudi S, Bonsangue V, Mele S, et al. Bilateral M1 anodal transcranial direct current stimulation in post traumatic chronic minimally conscious state: a pilot EEG-tDCS study[J]. *Brain injury*, 2019,33(4):490-495.
- [33] Ziliotto N, Marchetti G, Straudi S, et al. Soluble neural cell adhesion molecule and behavioural recovery in minimally conscious patients undergoing transcranial direct current stimulation[J]. *Clinica Chimica Acta*, 2019,495:374-376.
- [34] Guo Y, Bai Y, Xia X, et al. Effects of Long-Lasting High-Definition Transcranial Direct Current Stimulation in Chronic Disorders of Consciousness: A Pilot Study[J]. *Front Neurosci*, 2019,13:412.
- [35] Zhang R, Zhang L, Guo Y, et al. Effects of High-Definition Transcranial Direct-Current Stimulation on Resting-State Functional Connectivity in Patients With Disorders of Consciousness [J]. *Front Hum Neurosci*, 2020,14:560586.
- [36] Motarjeme A. Ultrasound-Enhanced Thrombolysis[J]. *J Endovasc Ther*, 2007,14(2):251-256.
- [37] Servick K. Hope grows for targeting the brain with ultrasound [J]. *Science*, 2020,368(6498):1408-1409.
- [38] Cain J A, Spivak N M, Coetzee J P, et al. Ultrasonic thalamic stimulation in chronic disorders of consciousness[J]. *Brain Stimulation*, 2021,14(2):301-303.
- [39] Jang S H, Kim O L, Kim S H, et al. The Relation Between Loss of Consciousness, Severity of Traumatic Brain Injury, and Injury of Ascending Reticular Activating System in Patients With Traumatic Brain Injury[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2019,98(12):1067-1071.
- [40] Jia Y, He Y, Tian Y, et al. MicroRNA alteration in cerebrospinal fluid from comatose patients with traumatic brain injury after right median nerve stimulation[J]. *Experimental brain research*, 2022,240(9):2459-2470.
- [41] Feng Z, Zhong Y J, Wang L, et al. Resuscitation therapy for traumatic brain injury-induced coma in rats: mechanisms of medi-

- an nerve electrical stimulation[J]. *Neural Regen Res*, 2015,10(4):594-598.
- [42] Zhong Y J, Feng Z, Wang L, et al. Wake-promoting actions of median nerve stimulation in TBI-induced coma: An investigation of orexin-A and orexin receptor 1 in the hypothalamic region[J]. *Mol Med Rep*, 2015,12(3):4441-4447.
- [43] Liu J T, Wang C H, Chou I C, et al. Regaining consciousness for prolonged comatose patients with right median nerve stimulation[J]. *Acta neurochirurgica. Supplement*, 2003,87:11-14.
- [44] Wu X, Xie L, Lei J, et al. Acute traumatic coma awakening by right median nerve electrical stimulation: a randomised controlled trial[J]. *Intensive care medicine*, 2023,49(6):633-644.
- [45] Liu Z, Zhang X, Yu B, et al. Effectiveness on level of consciousness of non-invasive neuromodulation therapy in patients with disorders of consciousness: a systematic review and meta-analysis[J]. *Frontiers in human neuroscience*, 2023,17:1129254.
- [46] Feller D, Vinante C, Trentin F, et al. The effectiveness of median nerve electrical stimulation in patients with disorders of consciousness: a systematic review[J]. *Brain injury*, 2021,35(4):385-394.
- [47] Wang P, Cao W, Zhou H, et al. Efficacy of median nerve electrical stimulation on the recovery of patients with consciousness disorders: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Int Med Res*, 2022,50(11):665771901.
- [48] Xiong Q, Le K, Tang Y, et al. Effect of single and combined median nerve stimulation and repetitive transcranial magnetic stimulation in patients with prolonged disorders of consciousness: a prospective, randomized, single-blinded, controlled trial[J]. *Front Aging Neurosci*, 2023,15:1112768.
- [49] Liu Y S, Liu Z B, Yang Z, et al. Clinical efficacy of hyperbaric oxygen combined with different timings of right median - nerve electrical stimulation in patients with brain injury-induced disorders of consciousness[J]. *Brain and Behavior*, 2022,12(9):e2716.
- [50] Wang L, Wu Q, Yang Z, et al. Preliminary Study of Vagus Nerve Magnetic Modulation in Patients with Prolonged Disorders of Consciousness[J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2022,18:2171-2179.
- [51] Jang S H, Cho M J. Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation in disorders of consciousness: A mini-narrative review[J]. *Medicine*, 2022,101(50):e31808.
- [52] Briand M M, Gosseries O, Staumont B, et al. Transcutaneous Auricular Vagal Nerve Stimulation and Disorders of Consciousness: A Hypothesis for Mechanisms of Action[J]. *Front Neurol*, 2020,11:933.
- [53] Wang L, Gao F, Wang Z, et al. Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation in the treatment of disorders of consciousness: mechanisms and applications[J]. *Front Neurosci*, 2023,17:1286267.
- [54] Wang Y, Zhang J, Zhai W, et al. Current status and prospect of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation for disorders of consciousness[J]. *Front Neurosci*, 2023,17:1274432.
- [55] Dong X, Tang Y, Zhou Y, et al. Stimulation of vagus nerve for patients with disorders of consciousness: a systematic review[J]. *Frontiers in neuroscience*, 2023,17:1257378.
- [56] Zhou Y, Sun Y, He P, et al. The efficacy and safety of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation for patients with minimally conscious state: a sham-controlled randomized double-blind clinical trial[J]. *Frontiers in neuroscience*, 2023,17:1323079.
- [57] Powell K, Lin K, Tambo W, et al. Trigeminal nerve stimulation: a current state-of-the-art review[J]. *Bioelectron Med*, 2023,9(1):30.
- [58] Zheng Y, Wu S, Yang Q, et al. Trigeminal nerve electrical stimulation: An effective arousal treatment for loss of consciousness[J]. *Brain Research Bulletin*, 2021,169:81-93.
- [59] Xu J, Wu S, Huo L, et al. Trigeminal nerve stimulation restores hippocampal dopamine deficiency to promote cognitive recovery in traumatic brain injury[J]. *Progress in Neurobiology*, 2023,227:102477.
- [60] Tramonti F M, Artoni F, Di Galante M, et al. Effect of the Trigeminal Nerve Stimulation on Auditory Event-Related Potentials[J]. *Cereb Cortex Commun*, 2021,2(2):tgab012.
- [61] Ma H, Fan S, Xu Z, et al. Trigeminal nerve stimulation for prolonged disorders of consciousness: A randomized double-blind sham-controlled study[J]. *Brain Stimulation*, 2023,16(3):819-827.
- [62] Wu M, Luo B, Yu Y, et al. Rhythmic musical-electrical trigeminal nerve stimulation improves impaired consciousness[J]. *NeuroImage: Clinical*, 2022,36:103170.
- [63] Wu M, Concolato M, Sorger B, et al. Acoustic-electric trigeminal - nerve stimulation enhances functional connectivity in patients with disorders of consciousness[J]. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, 2024,30(3):e14385.
- [64] Wu M, Aukstulewicz R, Riecke L. Multimodal acoustic-electric trigeminal nerve stimulation modulates conscious perception[J]. *NeuroImage*, 2024,285:120476.
- [65] Särkämö T, Tervaniemi M, Huottilainen M. Music perception and cognition: development, neural basis, and rehabilitative use of music[J]. *Wiley interdisciplinary reviews. Cognitive science*, 2013,4(4):441-451.
- [66] Li X, Li C, Hu N, et al. Music Interventions for Disorders of Consciousness: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. *J Neurosci Nurs*, 2020,52(4):146-151.
- [67] Zhang X, Li J, Lu H, et al. Positive effects of music therapist's selected auditory stimulation on the autonomic nervous system of patients with disorder of consciousness: a randomized controlled trial[J]. *Neural regeneration research*, 2021,16(7):1266-1272.
- [68] Grimm T, Kreutz G. Music interventions in disorders of consciousness (DOC) - a systematic review[J]. *Brain injury*, 2018,32(6):704-714.
- [69] Xiao X, Chen W, Zhang X. The effect and mechanisms of music therapy on the autonomic nervous system and brain networks of patients of minimal conscious states: a randomized controlled trial[J]. *Front Neurosci*, 2023,17:1182181.
- [70] Riganello F, Cortese M D, Arcuri F, et al. How Can Music Influence the Autonomic Nervous System Response in Patients with

- Severe Disorder of Consciousness? [J]. *Front Neurosci*, 2015,9:461.
- [71] Liu Z, Liu Y, Zhao L, et al. Short-term efficacy of music therapy combined with α binaural beat therapy in disorders of consciousness[J]. *Frontiers in psychology*, 2022,13:947861.
- [72] Hu Y, Yu F, Wang C, et al. Can Music Influence Patients With Disorders of Consciousness? An Event-Related Potential Study [J]. *Front Neurosci*, 2021,15:596636.
- [73] Roenneberg T, Merrow M. The Circadian Clock and Human Health[J]. *Current biology*, 2016,26(10):R432-R443.
- [74] Foster R G, Wulff K. The rhythm of rest and excess[J]. *Nature reviews. Neuroscience*, 2005,6(5):407-414.
- [75] Wyatt J K, Ritz-De C A, Czeisler C A, et al. Circadian temperature and melatonin rhythms, sleep, and neurobehavioral function in humans living on a 20-h day[J]. *Am J Physiol*, 1999,277(4 Pt 2):R1152-R1163.
- [76] Duclos C, Dumont M, Arbour C, et al. Parallel recovery of consciousness and sleep in acute traumatic brain injury[J]. *Neurology*, 2017,88(3):268-275.
- [77] Sinclair K L, Ponsford J L, Taffe J, et al. Randomized Controlled Trial of Light Therapy for Fatigue Following Traumatic Brain Injury[J]. *Neurorehabilitation and neural repair*, 2014,28(4):303-313.
- [78] Laureys S, Owen A M, Schiff N D. Brain function in coma, vegetative state, and related disorders[J]. *Lancet neurology*, 2004,3(9):537-546.
- [79] Cologan V, Schabus M, Ledoux D, et al. Sleep in disorders of consciousness[J]. *Sleep Medicine Reviews*, 2010,14(2):97-105.
- [80] Landsness E, Bruno M A, Noirhomme Q, et al. Electrophysiological correlates of behavioural changes in vigilance in vegetative state and minimally conscious state[J]. *Brain*, 2011,134(Pt 8):2222-2232.
- [81] Mertel I, Pavlov Y G, Barner C, et al. Sleep in disorders of consciousness: behavioral and polysomnographic recording[J]. *BMC medicine*, 2020,18(1):350.
- [82] de Biase S, Gigli G L, Lorenzini S, et al. The importance of polysomnography in the evaluation of prolonged disorders of consciousness: sleep recordings more adequately correlate than stimulus-related evoked potentials with patients' clinical status[J]. *Sleep Medicine*, 2014,15(4):393-400.
- [83] Arico I, Naro A, Pisani L R, et al. Could combined sleep and pain evaluation be useful in the diagnosis of disorders of consciousness (DOC)? Preliminary findings[J]. *Brain Inj*, 2016,30(2):159-163.
- [84] Rossi Sebastiano D, Visani E, Panzica F, et al. Sleep patterns associated with the severity of impairment in a large cohort of patients with chronic disorders of consciousness[J]. *Clinical Neurophysiology*, 2018,129(3):687-693.
- [85] Arnaldi D, Terzaghi M, Cremascoli R, et al. The prognostic value of sleep patterns in disorders of consciousness in the sub-acute phase[J]. *Clin Neurophysiol*, 2016,127(2):1445-1451.
- [86] Chambe J, Reynaud E, Maruani J, et al. Light therapy in insomnia disorder: A systematic review and meta-analysis[J]. *Journal of sleep research*, 2023,32(6):e13895.
- [87] Tao L, Jiang R, Zhang K, et al. Light therapy in non-seasonal depression: An update meta-analysis[J]. *Psychiatry Res*, 2020,291:113247.
- [88] Ballard R, Parkhurst J, Julian K, et al. Light Therapy for Adolescent Depression: A Scoping Review[J]. *Current psychiatry reports*, 2023,25(9):373-386.
- [89] Blume C, Lechinger J, Santhi N, et al. Significance of circadian rhythms in severely brain-injured patients: A clue to consciousness? [J]. *Neurology*, 2017,88(20):1933-1941.
- [90] Yelden K, James L M, Duport S, et al. A simple intervention for disorders of consciousness- is there a light at the end of the tunnel? [J]. *Frontiers in Neurology*, 2022,13:824880.
- [91] Brouwer A, Nguyen H T, Snoek F J, et al. Light therapy: is it safe for the eyes? [J]. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 2017,136(6):534-548.
- [92] Krewer C, Luther M, Koenig E, et al. Tilt Table Therapies for Patients with Severe Disorders of Consciousness: A Randomized, Controlled Trial[J]. *PLoS One*, 2015,10(12):e0143180.
- [93] Ng H, King A. A systematic review of head-up tilt to improve consciousness in people with a prolonged disorder of consciousness [J]. *Clinical Rehabilitation*, 2021,35(1):13-25.
- [94] Rosenfelder M J, Helmschrott V C, Willacker L, et al. Effect of robotic tilt table verticalization on recovery in patients with disorders of consciousness: a randomized controlled trial[J]. *J Neurol*, 2023,270(3):1721-1734.
- [95] 吴军发, 吴毅, 胡永善, 等. 严重意识障碍患者康复治疗方案的临床研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2008,23(10):910-912.
- [96] Riberholt C G, Thorlund J B, Mehlsen J, et al. Patients with severe acquired brain injury show increased arousal in tilt-table training[J]. *Dan Med J*, 2013,60(12):A4739.