

康复治疗在臂丛神经损伤中的多层次应用进展

Advances in the multilevel application of rehabilitation in brachial plexus injuries

孙 潇, 颜 奇, 吴天翼, 滕 云, 赵乐羽, 邹 俊[△]

SUN Xiao, YAN Qi, WU Tian-yi, TENG Yun, ZHAO Le-yu, ZOU Jun

苏州大学附属第一医院骨科, 江苏 苏州 215006

【摘要】 臂丛神经是由 C5~C8 颈神经的前支以及 T1 胸神经的前支主要纤维构成, 主要负责调控上肢的感觉和运动功能。臂丛神经损伤被认为是上肢神经损伤中较为严重的一种, 也是周围神经损伤中最为严重的类型之一。常导致患者上肢运动、感觉功能障碍, 严重影响患者的工作及生活质量。随着显微外科技术和神经修复材料的发展, 臂丛神经损伤的手术修复效果不断提高, 但术后功能恢复仍面临着诸多挑战。康复治疗作为臂丛神经损伤手术后治疗的重要辅助手段, 对改善患者预后至关重要。本文综述了康复治疗在臂丛神经损伤中的应用进展, 涵盖了运动疗法、物理因子治疗、电针与康复训练的结合、中西医结合疗法以及辅助治疗技术等五个方面。同时, 对臂丛神经损伤的康复治疗的发展趋势进行了展望, 特别强调了规范化综合康复治疗在提升患者预后中的关键作用。

【关键词】 臂丛神经损伤; 康复治疗; 运动治疗; 物理因子; 中西医结合; 辅助治疗

【中图分类号】 R493

【文献标志码】 B

【文章编号】 1672-6170(2025)03-0161-06

臂丛神经损伤常由交通事故、难产、外伤等引起, 可能导致上肢运动和感觉功能障碍, 甚至瘫痪, 给患者的日常生活与工作带来显著影响^[1]。流行病学研究表明, 全球新生儿臂丛神经损伤发病率为 0.38%~5.10%, 我国发病率 5.9%~17.0%, 以青壮年男性多见^[2]。目前, 手术治疗技术的发展也为臂丛神经损伤的康复治疗提供了新的可能。神经移位术是治疗全臂丛神经撕脱伤的固定术式之一, 而对于不全损伤的治疗, 则更多地运用丛内移位的方法。这些手术方法的发展, 为臂丛神经损伤的康复治疗提供了多样化的治疗选择和潜在的疗效提升。尽管手术仍是治疗臂丛神经损伤的主要手段, 但术后功能恢复欠佳, 部分患者肢体仍存在功能障碍等诸多问题。因此, 术后神经性疼痛、肌肉萎缩和神经再生已成为术后康复的重点^[3]。术后康复治疗对于臂丛神经损伤患者的肢体功能重建和预后改善至关重要。近年来, 随着康复医学的快速发展, 诸多新技术、新方法被引入臂丛神经损伤康复领域, 极大地推动了该领域的康复治疗新技术地发展。

1 运动治疗

1.1 运动疗法 联合电刺激疗法电刺激与运动疗法的结合已被证实是一种促进臂丛神经损伤修复的有效治疗策略。相较于单一运动疗法, 通过电针电刺激配合运动疗法能显著提高治疗效果, 总有效率可达 94.1%^[4]。电针结合康复训练还可加速损伤神经的修复, 减轻疼痛, 有助于重建肢体的功能。与此同时, 通过神经肌肉电刺激联合运动疗法能够

进一步改善患者的臂丛神经功能。这种方法通过刺激受累肌肉, 促进肌肉力量的恢复, 从而辅助运动疗法达到更好的治疗效果。甘碧虹等^[5]的一项研究也得出了类似的结论, 神经肌肉电刺激联合运动疗法能有效提升臂丛神经损伤手术患儿术后的上肢肌力, 促进上肢运动功能恢复。此外, 对于新生儿臂丛神经损伤患者, 肌电生物反馈联合康复运动治疗的效果更为显著。这种治疗方法能明显提高患儿的肌力, 提升患儿的肩关节、肘关节及手部活动功能^[6]。

1.2 针对性训练 针对性训练是根据臂丛损伤的受累神经和肌肉, 有针对性地进行力量、耐力等训练, 可提高肢体运动控制能力^[7]。相关研究显示采用等长收缩训练治疗臂丛上干受损患者, 3 个月后患者肘屈曲力量及日常生活活动能力明显提高。深圳市龙岗区骨科医院团队应用神经肌肉本体促进技术结合电针技术对臂丛中下干损伤患者进行关节运动训练, 8 周后患者腕伸肌力改善显著^[8]。同时, 上肢综合训练也显示出对新生儿上干型臂丛神经损伤运动发育的积极影响, 能够有效改善臂丛神经损伤患儿的上肢功能^[9]。此外, 手法治疗如关节松动术、筋膜释放等, 可避免肌肉挛缩, 软组织粘连, 也是针对性训练的重要组成部分^[10], 发挥着无可替代的作用。

1.3 镜像疗法 镜像疗法通过健侧肢体运动在镜中的反射, 欺骗大脑产生患侧运动的错觉, 从而激活损伤侧运动皮层, 提高肢体功能。该方法最早于 1995 年提出, 并迅速在康复医学领域得到广泛应用^[11]。镜像神经元, 作为一类特殊的神经元, 能够在观察者大脑中引发与执行动作时相似的神活动

【基金项目】 国家重点研发计划项目(编号:2022YFC2009700)

[△]通讯作者

动模式。近期,镜像疗法在中枢神经系统疾病康复中的应用日益广泛,其在促进臂丛神经损伤后功能恢复方面的潜在效果受到关注。研究表明,镜像疗法联合肌电生物反馈可以改善上肢神经损伤患者的运动功能,提升感觉功能,提高运动神经传导速度^[12]。此外,研究显示镜像疗法在疼痛管理方面展现出巨大潜力,镜像反馈治疗被证明是全臂丛损伤后顽固性神经病理性疼痛的有效治疗手段^[13]。通过激活感觉运动皮层,改善大脑皮层的不适应性重组,从而缓解疼痛。镜像疗法还被证明对脑卒中后偏瘫患者的上肢及手功能有积极影响,尤其是当与其他康复治疗方法如分级运动想象、动作观察疗法联合使用时,其效果更为显著^[14]。这强调了镜像疗法在运动功能康复中的重要作用,其类似的功能也可以同时被应用于臂丛神经损伤后上肢的感觉及运动功能丧失后的康复恢复中。

镜像疗法通过激活镜像神经元、增强皮质脊髓束的可塑性、融合多种治疗策略,并基于其神经生理学原理,有效促进臂丛神经损伤患者上肢及手功能的康复。在臂丛神经损伤的综合性康复治疗中,镜像疗法发挥着关键作用,它不仅能够恢复手功能和优化疼痛管理,还能促进运动功能的恢复,并通过与其他治疗手段的协同效应,优化神经损伤后的全面疗效。

1.4 运动想象疗法 运动想象是指在头脑中对某一特定动作进行反复模拟和想象的认知训练过程。在臂丛神经损伤的多层次康复治疗中,运动想象疗法基于大脑可塑性的原理,通过心理模拟运动来促进受损神经功能的恢复。众多研究表明,运动想象能够激活与运动执行相关的大脑皮层区域,在脑卒中、帕金森病等疾病的运动功能康复中起到了积极作用。臂丛神经损伤后,患者的手部功能恢复往往不佳,这与周围神经再生速度慢、靶肌肉的萎缩有关。然而,研究发现,大脑辅助运动区及相关脑网络的可塑性变化对于手部功能的恢复至关重要。臂丛损伤患者的辅助运动区出现功能性沉寂,其与楔前叶、扣带回的功能连接下降,造成本体感觉、运动调控能力的障碍,与手功能不佳存在关联^[15]。这表明,针对辅助运动区的干预措施可能对改善患者,特别是臂丛神经损伤后的患者的运动计划能力及手部功能有积极作用。其次,当今我国乃至世界康复技术的飞速发展运动想象疗法提供了新的实施方式。一项研究显示,运动想象疗法结合手功能康复机器人治疗能显著提高脑卒中后手功能障碍患者的 FUGL-MEYER 手功能评分和 BARTHEL 指数评分^[16]。另一项研究则发现,运动想象疗法能

有效改善脑卒中患者肢体功能障碍及肌电图信号^[17]。这表明,基于技术的运动想象疗法不仅可行、安全,而且被脑卒中幸存者接受,甚至完全可以被臂丛神经损伤的患者在康复治疗过程中接纳。运动想象疗法已被证明能显著改善脑卒中后上肢功能康复患者的运动功能,并且还能提高生活质量。这进一步证实了运动想象疗法在促进受损神经功能恢复方面的有效性。

通过针对大脑辅助运动区的干预,结合现代技术手段,可以有效促进患者的手部功能恢复,提高其生活质量。因此,运动想象疗法应被视为臂丛神经损伤康复治疗中的核心组成部分,其在臂丛神经损伤的综合性康复治疗中扮演着至关重要的角色,具有深远的意义。

2 物理因子治疗

2.1 电刺激疗法 电刺激疗法通过低频电流兴奋神经肌肉,可促进神经再生,预防肌萎缩,改善瘫痪肢体功能。神经肌肉电刺激和经皮电神经刺激在臂丛神经损伤康复中的应用越发广泛。相关研究表明,低频脉冲电刺激疗法可以有效改善臂丛神经损伤患者上肢僵硬、肌力下降、痛温觉减退等症状,有效促进臂丛神经损伤患者的康复^[18]。在应用方面,电刺激疗法在适用于成人的同时,也适用于小儿臂丛神经损伤患者。研究指出尽早应用低频脉冲电刺激联合脑苷肌肽治疗,对于臂丛神经损伤患儿肢体功能的康复具有显著的疗效^[19]。此外,神经肌肉电刺激联合作业疗法在小儿臂丛神经损伤康复治疗中的肩关节功能改善,加快神经传导,减轻损伤的功效^[20]以及神经肌肉电刺激配合针灸能够有效恢复臂丛神经受损患儿的受损肌肉功能^[21]均得到了证实。随着科技的进步与发展,电刺激疗法也在不断改革和创新。纳米发电机作为一种新型的电刺激源,能够将机械能直接转换为电能,为电刺激康复治疗的创新和变革注入了不竭的动力^[22]。电刺激还可以与其他治疗方法(如运动疗法、中医推拿治疗)相结合的这种联合疗法在治疗多种疾病方面具有显著的疗效。功能性电刺激与主动运动相结合,也可进一步改善臂丛损伤患者的运动控制能力。

电刺激疗法能有效缓解臂丛神经损伤产生的疼痛,因其操作便捷、非侵入性及副作用少等优势,日益受到学术界的重视。该疗法在臂丛神经损伤的多维康复治疗中已取得突破性进展,其有效性、与其他治疗手段的协同效应、广泛的适应症、技术革新以及在安全性和便捷性方面的表现均预示着其良好的治疗潜力。未来研究应聚焦于优化电刺

激疗法的治疗方案和参数调整,旨在为患者提供更高效率的治疗效果。

2.2 磁刺激疗法 磁刺激是利用时变磁场在人体组织中产生感应电流,从而调节神经功能的一种物理疗法。磁刺激疗法是近年来兴起的一种物理治疗技术,通过非侵入性地在体外施加时变磁场,在神经组织内产生感应电流,从而调节神经功能。与传统电刺激疗法相比,磁刺激具有无痛、穿透力强、刺激范围精确等优势。根据刺激部位和参数不同,磁刺激主要分经颅磁刺激(TMS)和周围神经磁刺激(PNMS)临床常用的两大类。TMS通过刺激大脑皮层,在中枢水平调控运动、感觉、情感等多种神经功能。重复经颅磁刺激(RTMS)结合常规康复治疗能有效改善单侧臂丛神经损伤术后的患侧肩关节活动度,并缓解疼痛。这表明TMS在神经康复领域的应用可以显著提高患者的康复效果。与TMS相比,PNMS直接作用于周围神经,通过调节轴突传导、突触可塑性等机制,促进神经修复和功能重建。PNMS作为一种非侵入性神经调节技术,已被证明在慢性疼痛管理中具有显著效果。

磁刺激疗法在臂丛神经损伤的多层次康复治疗中显示出史无前例的进展和潜力。其不但能直接促进受损神经肌肉的恢复,还能通过影响大脑活动促进功能康复,且与其他康复治疗方法结合使用时能发挥协同效应,进一步提升康复效果。尽管如此,目前磁刺激在我国乃至世界臂丛神经损伤康复中的应用尚处于萌芽阶段,仍面临诸多亟待解决的问题:第一,刺激参数如何优化设置,尚无统一标准;第二,磁刺激与手术、药物等综合治疗方案如何制定,缺乏循证指南;第三,磁刺激的远期疗效及可能副作用有待大样本、长期随访研究加以明确;第四,磁刺激治疗效果评估的客观指标和量表尚不统一。在不久的将来,随着神经调控技术的不断进步和基础研究的深入开展,相信磁刺激疗法必将在臂丛神经损伤康复领域占据一席之地。

2.3 冲击波疗法 冲击波疗法是一种新兴的物理治疗技术,通过在体外释放高能声波,在组织内产生机械应力和微创效应,可促进组织修复,减轻疼痛,已广泛应用于骨科、疼痛和康复领域。冲击波治疗刺激机体交感和副交感神经系统,导致自主神经功能改变,同时激活下丘脑-垂体-靶腺轴和蓝斑-交感神经-肾上腺髓质轴,引起机体内分泌水平改变,激活炎症细胞合成和释放不同的炎症介质,导致机体炎症反应发生变化。冲击波疗法刺激人体的交感和副交感神经系统,导致自主神经功能的改

变^[23]。在脑卒中后肩手综合征的研究中,冲击波治疗结合针刺和康复功能训练显示出比单纯中频脉冲电治疗更好的效果,这表明冲击波可能通过促进受损神经功能恢复和减轻疼痛来发挥作用^[24]。冲击波疗法能够通过影响神经系统、内分泌系统和炎症系统等多个层面,对臂丛神经损伤患者的康复产生积极影响。体外冲击波治疗技术在康复领域逐步开始应用,大部分研究证实体外冲击波在肌肉软组织及骨关节疾病等其他一些疾病的康复治疗中都起到了重要作用,其有效性均得到了实验验证。虽然在应用时需要注意高能冲击波的一些副作用,但这并不妨碍其在臂丛神经损伤康复中的广泛应用和积极作用。

3 电针结合康复训练治疗

电针是将针刺与电刺激相结合的一种传统疗法,具有调节神经肌肉功能,改善局部血液循环的作用。一项研究显示,电针配合运动疗法治疗臂丛神经损伤的总有效率为99.1%,明显高于仅采用运动疗法的对照组(91.27%)^[25]。该研究表明电针结合运动疗法在治疗臂丛神经损伤方面具有显著的临床疗效。除了与运动疗法结合外,电针还可以与其他治疗方法如肌电生物反馈^[13]、作业疗法^[26]、穴位注射^[27]等结合使用,以提高治疗效果。这些研究表明,电针不仅可以单独使用,还可以与其他治疗方法相结合用于臂丛神经损伤的康复,以达到更好的治疗效果。电针治疗臂丛神经损伤的优势在于其能够有效促进受损神经的修复和功能恢复。例如,在一项研究中^[28],治疗组在对照组基础上加用电针治疗后神经功能评估及肌电图改善率高于使用常规康复治疗方式的对照组,说明电针配合常规康复治疗婴幼儿臂丛神经损伤的疗效优于单纯常规康复治疗,能显著提高神经功能评估及肌电图改善率。此外,电针治疗还能显著提高臂丛神经损伤患者的疼痛评估评分和活动范围,从而提高患者的生活质量。值得一提的是,电针治疗作为一种非药物治疗方法,在安全性方面具有明显优势。它不仅可用于成人,也可以用于儿童^[26, 28],并且在治疗过程中未见明显的副作用或不良反应。

电针结合康复训练治疗臂丛神经损伤是极其有效的。它不仅可单独使用,还可以与其他治疗方法配合使用,以提高治疗效果。电针治疗的优势在于其能够有效促进受损神经的修复和功能恢复,同时具有较高的安全性和可行性。因此,电针结合康复训练治疗臂丛神经损伤在临床上的推广和应用,具有极其光明的前景。

4 中西医结合治疗

中医学认为,臂丛神经损伤属于“痿证”范畴,多由外伤、血瘀、气滞等因素导致气血运行不畅,筋脉失养所致。中医治疗多从益气活血、舒筋通络入手,采用针灸、推拿、中药等多种疗法。西医则强调神经修复和功能重建,注重手术、康复训练等。将两者优势互补,可收到事半功倍之效。中西医结合治疗在臂丛神经损伤康复中的效果对比研究显示,采用中西医结合的康复治疗方案(包括电刺激、激光照射、电体操疗法以及运动疗法)对于臂丛神经损伤术后患者的患肢的例如肘关节的屈伸,肩关节的抬举等运动功能的康复具有极其明显的促进作用。具体来说,与仅实施常规护理的对照组相比,接受中西医结合治疗的观察组在神经再生情况和功能恢复方面表现更佳,再生神经电位比例明显更高,且组间差异有统计学意义($P<0.05$)^[29]。该研究表明,中西医结合治疗能够有效促进臂丛神经损伤术后患者的康复,有利于患者肢体功能的早期恢复。此外,中医药康复疗法在治疗臂丛神经损伤方面具有一定的优势,能够帮助消除炎症和水肿,防止关节挛缩,促进神经再生,恢复神经功能。

中西医结合治疗能够显著提高臂丛神经损伤患者的康复效果,改善患者的生活质量。通过针刺、推拿等中医方法与西医的药物治疗相结合,可以有效促进患者肢体功能的恢复,减轻疼痛,提高整体健康状况。中医治疗方法如针灸、电针、推拿等,在一定程度上可以促进神经的再生和肌力的恢复,尤其是在小儿臂丛神经损伤患者中,中西医结合治疗显示出较高的总有效率和良好的临床疗效^[29]。与单纯采用西医治疗方法相比,中西医结合治疗不仅可以提高治疗效果,还可以减少不良反应和并发症的发生。例如,综合康复治疗小儿臂丛神经损伤时,中西医结合组患儿家长对康复治疗的满意评价显著高于常规康复组,且无 1 例出现并发症^[30]。中西医结合治疗在臂丛神经损伤的多层次康复治疗应用中展现出了显著的疗效和广阔的应用前景。

5 辅助治疗技术

5.1 机器人辅助康复技术 机器人辅助康复是这些年来刚刚兴起的一项新兴治疗技术,该技术通过机器人系统模拟生理运动模式,为患者提供精准、可控的康复训练,在臂丛神经损伤、脑卒中、脊髓损伤等神经损伤性疾病康复中显示出良好效果。机器人辅助康复是将机器人技术与康复医学相结合的新兴领域,可模拟复杂人体运动,实现主被动、助

力、阻力等多种训练模式。康复机器人运动精准度高,可实现精细、复杂动作的训练;可根据患者功能状态提供适宜负荷。且能够及时客观反馈,通过内置传感器实时监测患者活动,并给出量化评估。趣味性强的同时,结合虚拟现实、游戏等元素,提高患者参与度^[31]。这些特点使机器人辅助康复在促进运动功能、改善运动控制等方面具有独特优势。上肢外骨骼机器人是当今康复机器人领域的研究热点。与其他类型的康复机器人相比,外骨骼机器人可以直接附着在患者体表上,并且与人体上肢的形态和运动轨迹高度吻合。这类机器人通过捕捉患者的肌电信号,解码其运动意图,从而帮助患者重建上肢运动功能。这种技术的应用不仅提高了康复训练的精确性,还通过提供重复性的运动训练,增强了患者的肌肉力量和协调能力,因此更适合臂丛神经损伤等周围神经损伤的精细康复^[32]。现如今国内外已经开发了许多臂丛神经康复外骨骼机器人。

然而早期的机器人辅助康复技术的应用主要集中在运动功能的恢复上。早在 1998 年的研究就已经展示了机器人辅助康复设施在中风患者中的应用,并且强调了机器人辅助治疗没有不良效应,患者能够耐受该程序,并且外周操作受损肢体可能会影响大脑的恢复^[33],这为后续的研究奠定基础。后续的研究逐渐深入到更具体的康复训练模式和技术开发上。2007 年的相关研究描述了基于运动皮层集合体神经界面系统的辅助技术和机器人控制,这些系统的设计目的是让瘫痪的人能够根据直接从大脑获得的指令信号来操作辅助技术或重新激活肌肉^[34],该研究揭示了直接利用大脑信号来控制机器人的康复训练是可行的,为未来的神经康复提供了新的思路。2017 年清华大学李翀团队研究通过结合游戏的康复训练系统,发现调节游戏参数达到适宜的难度对于提高患者的参与度和专注度有积极的影响,展示了康复机器人通过智能化训练处方和增加训练的趣味性,可以有效提升患者的康复效果^[35]。在不久的将来,利用人工智能技术,如机器学习算法,来优化人机交互和预测康复趋势,提高了机器人辅助康复治疗的安全性、可靠性和有效性。这些技术的应用不仅改善了控制策略,还增强了康复训练的效果。机器人辅助康复技术为臂丛神经损伤患者康复训练提供了新思路和新方法,但其临床效果和运行模式还有待进一步优化完善。在未来,需加强工程技术与临床康复需求的深度融合,研发更加智能化、个性化、小型化、经济化的康

复机器人,为患者提供连续、规范、高效的康复训练,最终实现功能重建和社会回归。

5.2 虚拟现实(virtual reality, VR)康复技术 VR 是通过电脑仿真生成 3D 虚拟空间,让使用者在游戏中有身临其境的感觉与体验。将 VR 应用于康复治疗中,可以提高患者的锻炼积极性,增加患者康复训练兴趣,充分调动他们的主观能动性。首先,VR 技术能够提供一个安全、可控的环境,使患者能够在没有真实风险的情况下进行运动学习和训练。这一点对于臂丛神经损伤患者尤为重要,因为他们在康复过程中可能面临较大的身体风险。此外,VR 结合机器人技术已被用于臂丛神经损伤后的疼痛管理和功能恢复。一项案例研究显示,通过 VR 和触觉反馈,臂丛神经损伤患者的上肢疼痛显著减少,运动范围得到改善^[36]。除此之外,VR 技术在康复治疗中的个性化定制能力也是其重要优势之一。通过对 VR 系统的定制化设计,可以根据患者的具体情况和需求,提供更加个性化的康复方案,从而提高康复效果^[37]。例如,基于多模态交互和反馈的虚拟康复系统能够为患者提供丰富的生理反馈信息,提升动作的识别率和系统的交互性能。然而,尽管 VR 技术在臂丛神经损伤的康复治疗中展现出巨大潜力,但目前关于其临床效果的高质量证据仍然有限。与传统康复手段相比,VR 技术可能在某些方面(如步态和平衡)带来中等程度的改善,但在其他方面(如日常生活技能)的效果则较为有限。因此,未来需要更多的高质量、大规模的研究来进一步验证 VR 技术在臂丛神经损伤康复治疗中的应用效果。VR 技术在臂丛神经损伤的多层次康复治疗中具有不可替代的未来应用价值,能够提供安全、互动性强、个性化的康复环境,有助于提高患者的康复效果。然而,要充分发挥 VR 技术康复领域的潜力,还需要我们进一步的研究和探索。

5.3 经颅直流电刺激技术(transcranial direct current stimulation, TDCS) TDCS 是一种无创性神经调控技术,通过微弱直流电流刺激大脑皮层,可诱导突触前膜去极化或超极化,从而影响皮质兴奋性和可塑性。经颅直流电刺激技术在脑卒中等中枢神经系统疾病康复中的应用日益受到重视,其在周围神经损伤后运动功能恢复中的作用也逐渐被关注。南昌市第一医院相关团队^[38]采用 TDCS 联合常规康复,选取 40 例脑卒中后功能障碍患者作为研究对象,4 周后 TDCS 组上肢运动功能、手 BRUNNSTROM 分期明显优于对照组。徐州医科大学相关团队通过研究发现基于视听觉和运动反馈

的 BCI 结合 TDCS 可进一步促进臂丛神经损伤后的恢复,改善脑卒中患者上肢运动功能,提高患者日常生活上肢活动能力^[39]。但 TDCS 的最佳电流强度、电极位置、持续时间等参数设置尚无定论,其远期疗效和安全性有待未来大样本临床研究去加以证实。

6 总结与展望

近年来,臂丛神经损伤康复领域的研究取得了长足进展,多层次、多角度的治疗方法不断涌现,极大地推动了患者功能恢复和生活质量的提高。运动治疗能有效改善患肢的运动功能,促进神经再支配;物理因子治疗有助于缓解疼痛,加速组织修复;电针结合康复训练能调节气血,舒筋通络;中西医结合治疗通过优势互补,实现协同增效;而机器人、VR 等辅助技术则提高了患者对康复训练的依从性,并使疗效的量化评估成为可能。

尽管如此,目前臂丛神经损伤康复仍面临诸多挑战:首先,现有研究多为小样本、短期观察,缺乏大规模随机对照试验,循证医学证据级别偏低;其次,不同治疗方法的最佳组合方式、时机、疗程等尚不明确,治疗过程缺乏规范化、个体化的临床路径;再次,康复机器人、VR 等辅助技术的软硬件设施、操作流程、适应证等有待进一步优化和完善;最后,现有研究主要局限于临床疗效观察,其作用机制、影像学 and 电生理改变等方面的探索相对欠缺。

在未来,亟需开展高质量、大样本的循证研究,进一步明确不同治疗技术的适应证、禁忌证、疗效优劣,建立规范化、个体化的康复方案,并积极探索其作用机制。同时,还需借助人工智能、大数据分析等信息技术手段,开发智能可穿戴康复设备,实现患者运动功能的实时、远程监测,为制定精准化康复策略提供数据支持。此外,加强多学科协作,整合康复医学、手外科、影像学 and 工程学等领域力量,建立从急性期到慢性期、从医院到社区的全程康复服务体系,也是推动臂丛神经损伤康复事业发展的重要举措。

【参考文献】

- [1] Noland SS, Bishop AT, Spinner RJ, et al. Adult traumatic brachial plexus injuries[J]. The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2019, 27(19): 705-716.
- [2] 张曦,王振芳,李文娟,等.腕手矫形器结合康复治疗对臂丛神经损伤患儿疗效分析[J].中国药物与临床, 2019, 19(12): 2068-2070.
- [3] 梁丹,虞依清,刘鑫瑛,等.臂丛神经损伤术后中医康复治疗的研究进展[J].中国当代医药, 2023, 30(21): 28-33.

- [4] 文怡川, 李娜, 伍祥容. 温针电针配合运动疗法与经皮电神经刺激治疗卒中后偏瘫肩痛临床研究[J]. 国际中医中药杂志, 2020,42(3):226-230.
- [5] 甘碧虹. 神经肌肉电刺激仪联合康复锻炼对行臂丛神经损伤手术患儿恢复效果的影响[J]. 医疗装备, 2021,34(14):178-179.
- [6] 许会梅, 尚清. 肌电生物反馈联合康复运动治疗新生儿臂丛神经损伤效果观察[J]. 中国民康医学, 2019,31(5):108-110.
- [7] Dy CJ, Peacock K, Olsen MA, et al. Incidence of surgically treated brachial plexus injury in privately insured adults under 65 years of age in the USA[J]. HSS Journal: the Musculoskeletal Journal of Hospital for Special Surgery, 2020,16(Suppl 2):339-343.
- [8] 叶鑫璇, 郑婷婷, 彭秋婷, 等. PNF 技术结合电针对前臂周围神经损伤术后康复的疗效研究[J]. 中外医学研究, 2022,20(14):155-158.
- [9] 冯玉美. 上肢综合训练对新生儿上干型臂丛神经损伤运动发育的影响[J]. 中国医药指南, 2020,18(7):139-140.
- [10] de Santana Chagas AC, Wanderley D, de Oliveira Ferro JK, et al. Physical therapeutic treatment for traumatic brachial plexus injury in adults: A scoping review[J]. PM & R: the Journal of Injury, Function, and Rehabilitation, 2022,14(1):120-150.
- [11] 王峻瑶, 黄真. 镜像视觉反馈及其在康复医学中的应用进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2012,34(1):70-73.
- [12] 刘晴, 巩尊科, 张秀芳, 等. 镜像疗法联合肌电生物反馈在上肢神经损伤康复中的应用研究[J]. 中国临床医生杂志, 2024,52(10):1173-1176.
- [13] 王静威. 镜像反馈治疗全臂丛损伤后疼痛的研究[D]. 南宁:广西医科大学, 2021.
- [14] 张雪晶. 基于镜像神经系统的康复治疗技术对脑卒中后偏瘫患者上肢及手功能的临床疗效研究[D]. 长春:吉林大学, 2019.
- [15] 陆晔辰. 臂丛神经损伤后大脑辅助运动区及相关脑网络可塑性变化的功能影像学研究[D]. 上海:复旦大学, 2014.
- [16] 李辉, 申丽, 许庆梅, 等. 运动想象结合手功能康复机器人治疗脑卒中后手功能障碍患者疗效观察[J]. 长治医学院学报, 2023,37(5):340-344.
- [17] 成莹, 马云超, 陈震宇. 运动想象辅助干预对脑卒中肢体功能障碍及肌电图信号的影响[J]. 检验医学与临床, 2023,20(1):112-115.
- [18] 于敏, 车世钦, 李承鑫. 低频脉冲电疗法联合早期康复对臂丛神经损伤患者康复效果的研究[J]. 中国医学创新, 2021,18(29):154-157.
- [19] 刘俊梅. 臂丛神经损伤患儿尽早应用低频脉冲电刺激联合脑苷肌肽对康复疗效的影响[J]. 护理研究, 2019,33(4):720-721.
- [20] 肖丽, 薛婷, 彭园园. 神经肌肉电刺激联合作业疗法在小儿臂丛神经损伤康复治疗中的应用[J]. 中国医学创新, 2022,19(26):171-175.
- [21] 刘辉. 小儿臂丛神经损伤康复治疗中神经肌肉电刺激配合针灸的作用[J]. 中国医药指南, 2017,15(14):104-105.
- [22] 单义珠, 封红青, 李舟. 电刺激治疗神经系统损伤疾病: 研究进展与展望(英文)[J]. 物理化学学报, 2020,36(12):71-81.
- [23] 王春晖, 侯立军. 冲击波致伤时神经-内分泌-炎症系统改变的研究进展[J]. 第二军医大学学报, 2020,41(5):551-557.
- [24] 蒲建军. 针刺结合冲击波及康复功能训练对脑卒中后肩手综合征 I 期的临床疗效观察[J]. 家庭医药, 2018(12):21-22.
- [25] 孟舒静, 丁乾, 尚承炜, 等. 电针配合运动疗法治疗臂丛神经损伤 105 例临床观察[J]. 世界中医药, 2014,9(7):928-930+933.
- [26] 熊英, 阳伟红, 欧阳云, 等. 电针辅助作业疗法治疗小儿臂丛神经损伤 40 例临床观察[J]. 中医儿科杂志, 2021,17(6):84-88.
- [27] 张健, 赵澎, 刘健, 等. 电针配合穴位注射治疗小儿臂丛神经损伤 19 例临床观察[J]. 中医儿科杂志, 2018,14(6):76-79.
- [28] 景国栋. 电针配合康复治疗婴幼儿臂丛神经损伤 30 例疗效观察[J]. 国医论坛, 2018,33(6):49-50.
- [29] 宏明, 刘倩, 刘红梅, 等. 康复护理对臂丛神经损伤术后患肢功能恢复的作用. 中国煤炭工业医学杂志, 2015,18(11):1930-1933.
- [30] 海宏阁, 王新萍, 王雅敏. 综合康复治疗小儿臂丛神经损伤效果分析与研究[J]. 中国现代药物应用, 2016,10(18):285-286.
- [31] Duret C, Grosmaire AG, Krebs HI. Robot-assisted therapy in upper extremity hemiparesis: overview of an evidence-based approach[J]. Frontiers in Neurology, 2019,10:412.
- [32] 王杜, 桂凯, 曹红升, 等. 基于肌电控制的辅助型机器人外骨骼[J]. 燕山大学学报, 2018,42(3):219-224,258.
- [33] Krebs HI, Hogan N, Aisen ML, et al. Robot-aided neurorehabilitation[J]. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 1998,6(1):75-87.
- [34] Donoghue JP, Nurmikko A, Black M, et al. Assistive technology and robotic control using motor cortex ensemble-based neural interface systems in humans with tetraplegia[J]. The Journal of Physiology, 2007,579(Pt 3):603-611.
- [35] 李琳. 基于机器人辅助神经康复的患者训练参与度与专注度研究[D]. 北京:清华大学, 2017.
- [36] Snow PW, Dimante D, Sinisi M, et al. Virtual reality combined with robotic facilitated movements for pain management and sensory stimulation of the upper limb following a brachial plexus injury: a case study[J]. IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, 2022,2022:1-6.
- [37] Voinescu A, Sui J, Stanton Fraser D. Virtual Reality in Neurorehabilitation: An Umbrella Review of Meta-Analyses[J]. Journal of Clinical Medicine, 2021,10(7):1478.
- [38] 胡洪菱, 姚芬芬, 陈俊炎, 等. 经颅直流电配合康复训练对脑卒中后功能障碍的临床研究[J]. 中国医学创新, 2023,20(3):49-53.
- [39] 高玲, 褚凤明, 贾凡, 等. 基于视听觉和运动反馈的脑机接口结合经颅直流电刺激对脑卒中患者上肢功能的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2024,30(2):202-209.

(收稿日期:2024-09-08;修回日期:2025-01-20)

(本文编辑:侯晓林)