

☆ XXXX ☆

针刺干预偏头痛的功能脑网络机制研究进展

魏海琳, 李蜀娟, 马 翠, 李 丽, 严兴科
(甘肃中医药大学针灸推拿学院, 兰州 730000)

【摘 要】 偏头痛是一种涉及痛觉、认知、情绪等多维度功能改变的慢性神经系统疾病,其感觉、认知、情绪相关脑网络异常改变与偏头痛发病密切相关。针刺是治疗偏头痛的有效方法之一,可通过增强感觉运动网络(SMN)功能连接、抑制视觉网络(VN)功能活动、激活下行疼痛抑制系统(DPMS)以减轻偏头痛疼痛程度;通过抑制默认模式网络(DMN)过度连接、增强突显网络(SN)与执行控制网络(CEN)功能活动以改善认知功能;通过改变情感网络(AN)功能连接以调节负性情绪。此外,针刺还可纠正痛觉-认知、痛觉-情绪及情绪-认知网络的异常活动,提高痛觉处理、认知控制与情绪调节能力,以实现“痛觉-认知-情绪”网络间的功能平衡,发挥治疗偏头痛的作用。

【关键词】 偏头痛;脑网络;针刺;功能连接

Research progress on functional brain network mechanisms of acupuncture intervention for migraine

Wei Hailin, Li Shujuan, Ma Cui, Li Li, Yan Xingke (School of Acupuncture-Moxibustion and Tuina, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China)

【ABSTRACT】 Migraine is a chronic neurological disorder involving multidimensional functional alterations of nociception, cognition, emotion and other domains. Abnormal changes in brain networks associated with sensation, cognition and emotion are closely linked to the pathogenesis of migraine. As an effective therapy for migraine, acupuncture can relieve migraine pain intensity by enhancing functional connectivity of the sensorimotor network (SMN), suppressing activity of the visual network (VN), and activating the descending pain modulatory system (DPMS). It ameliorates cognitive function via restraining excessive connectivity of the default mode network (DMN) and boosting functional activity of the salience network (SN) and central executive network (CEN). Acupuncture also regulates negative emotions by modulating functional connectivity of the affective network (AN). Moreover, acupuncture rectifies abnormal activities of nociception-cognition, nociception-emotion and emotion-cognition networks, elevates the capacities of nociceptive processing, cognitive control and emotional regulation, achieves functional balance among the “nociception-cognition-emotion” networks, and thereby exerts therapeutic effects against migraine.

【KEYWORDS】 Migraine; Brain network; Acupuncture; Functional connectivity

偏头痛是一种反复发作、以一侧或双侧搏动性剧烈头痛为特征的神经血管功能紊乱性疾病,常伴有恶心、呕吐、皮肤痛觉等症状^[1]。流行病学调查结果显示,全球范围内偏头痛患病率为14%,在各类疾病导致的残疾损失寿命年统计中位列第3,严重影响患者生活质量并造成社会经济负担^[2-4]。脑网络是不同脑区通过网络连接与信息交互,实现感觉、认知、情感等各类脑功能的复杂系统,其中感觉

相关脑网络介导痛觉过敏及先兆症状,认知相关脑网络参与痛认知障碍,情绪网络则与偏头痛的负性情绪相关。研究表明,偏头痛与痛感觉、痛认知及痛情绪相关脑区自发活动异常及网络连接模式紊乱密切相关^[5-6]。针刺是治疗偏头痛的常用外治法之一,可有效改善偏头痛的疼痛程度、调节疼痛相关认知与负性情绪,在临床上已得到广泛应用^[7-8]。既往研究主要从分子生物学、能量代谢等微

【DOI】10.13702/j.1000-0607.20251283

引用格式:魏海琳,李蜀娟,马翠,等.针刺干预偏头痛的功能脑网络机制研究进展[J].针刺研究,XXXX,XX(X):1-9.

项目来源:2025年甘肃省联合科研基金一般项目(No.25JRRA1173);2025年度甘肃省中医药研究中心专项开放课题项目(No.zyzx-2025-zx02);2026年甘肃省高校教师创新基金项目(No.2026A-113);2026年度甘肃中医药大学研究生创新创业基金项目(No.2026CXCXY-222)

通信作者:严兴科, E-mail:yanxingke@126.com

观方面探讨和阐释针刺治疗偏头痛的可能机制^[9-10]。随着神经影像学技术的发展,针刺对偏头痛患者单脑区、多脑区网络交互等功能的影响逐渐引起关注^[11]。因此,本文从痛觉、认知、情绪等多个维度梳理并总结针刺调节偏头痛相关脑功能网络的研究,以期对未来该领域的研究提供参考。

1 针刺调节偏头痛感觉功能脑网络

痛感觉是因疼痛导致的一种不愉快的感觉体验,包括疼痛的空间与时间特征和性质,这种异常感觉伴随和推动着偏头痛的发展。研究表明,偏头痛患者存在躯体痛觉过敏和运动诱发疼痛加重,及视觉先兆或畏光等伴随症状,与感觉运动网络(SMN)、视觉网络(VN)、下行疼痛抑制系统(DPMS)的功能紊乱显著相关^[12]。

1.1 感觉运动网络(SMN)

SMN是由中枢神经系统中负责痛觉处理、自主神经调控及躯体感觉整合的脑区形成的功能网络,其核心节点包括初级躯体感觉皮层(S1)、运动皮层(M1)、岛叶及丘脑等。S1与痛觉信号的空间定位和强度编码有关,负责处理疼痛的感官-辨别维度。研究证实,偏头痛患者S1的局部一致性(ReHo)、度中心性(DC)和低频振幅(fALFF)值显著降低,右侧前运动皮层的低频振幅(ALFF)值显著降低,双侧M1和左侧顶上小叶DC值显著降低,表明偏头痛患者SMN内部脑区的功能活动异常扰乱疼痛感觉的识别及伤害感受的加工和处理^[13]。中央前回属于M1的核心区域,负责随意运动的发起与调控。中央后回作为S1的主要组成部分,接受并处理痛觉信号,维持身体平衡和协调运动。罗诗蕾等^[14]研究显示偏头痛患者右侧前扣带皮层(ACC)与左侧中央前回的功能连接(FC)减弱,电针刺激率谷可提高左侧中央前回、中央后回的FC,表明针刺率谷可激活FC异常的中央前回与中央后回,从而调节运动控制与疼痛处理。

岛叶为痛觉整合中枢,负责处理疼痛情感成分、介导疼痛厌恶情绪与注意调控。种子点FC分析显示,偏头痛患者右侧后岛叶与中央后回、辅助运动区、旁中央小叶及梭状回的FC增强,表明偏头痛患者SMN内部脑区(岛叶、中央后回、辅助运动区)及与其他脑区存在功能活动异常改变^[15]。疼痛灾难化(PCS)为个体对疼痛的认知扭曲,使其过度担忧并对疼痛产生极端反应。研究显示,偏头痛患者双侧前岛叶与PCS相关;双侧前岛叶及对侧后岛

叶与疼痛强度相关^[16]。以上研究表明岛叶在偏头痛患者中存在异常功能活动,且与疼痛程度及痛觉处理相关。陈荷清^[17]将双侧岛叶作为种子区进行FC分析显示,针刺疗程结束后,双侧岛叶与右侧小脑、右侧扣带回的FC较第一次治疗后增强,表明针刺可通过调控岛叶与小脑的FC,降低患者的疼痛程度。

丘脑作为疼痛信号中继站,与SMN密切相关,主要负责整合和传导躯体感觉、痛觉信息至皮层,其皮层网络的异常会显著扰乱偏头痛患者的感觉、认知和运动神经过程,且丘脑的可塑性变化与偏头痛慢性化密切相关,其功能活动强度与头痛发作频率呈正相关^[18-19]。侯逸轩等^[20]研究显示,与治疗前相比,针刺治疗后丘脑与岛盖部额下回、颞横回、额中回(MFG)的动态功能连接(dFC)增强,表明针刺可通过调节丘脑与其他脑区间的dFC强度,以减少头痛发作频率。

由此表明,偏头痛患者SMN存在FC异常,与偏头痛的痛觉过敏、整合处理能力密切相关。针刺可通过调控SMN(S1/M1、岛叶、丘脑与其他脑区)的FC,改善疼痛感觉识别及疼痛信息整合处理。

1.2 视觉网络(VN)

VN主要由枕叶、梭状回、舌回、距状裂周围皮层等脑区构成,其异常功能活动与偏头痛的疼痛程度和视觉异常表现(如视觉先兆、畏光等)密切相关^[21-22]。枕叶是视觉感知与处理中心,还负责视觉、听觉和触觉信息的多感觉整合。刘国韵等^[23]证实偏头痛患者左侧枕叶与右侧额下回、ACC及右侧岛叶之间的FC显著降低,且患者ACC与其他脑区间FC值的变化与视觉模拟疼痛评分量表(VAS)和焦虑自评量表(SAS)呈正相关,提示视觉-情绪-疼痛调控环路在偏头痛中的作用。

梭状回负责视觉信息处理与情绪整合。研究显示偏头痛合并抑郁症患者梭状回活动出现显著异常,提示该脑区介导的情绪调控与视觉处理的交互可能加剧偏头痛的病理表现^[24]。蒋楠楠^[25]观察到针刺治疗后偏头痛患者梭状回的fALFF显著升高,表明针刺可恢复VN的正常功能活动,发挥治疗偏头痛的作用。枕中回(MOG)是枕叶外侧面的一个脑回,负责视觉信息加工与整合。研究者运用z转换的低频波动振幅(zALFF)图谱进行多元模式分析,结果表明双侧枕中回、右梭状回、左岛叶及左小脑上部的zALFF值是偏头痛的神经影像学标志物,经针刺治疗后,双侧MOG的zALFF值显著降低,

提示该指标可有效预测头痛强度缓解程度及偏头痛发作频率^[26]。刘飞等^[27]研究,针刺后偏头痛患者即刻右侧MOG、左侧MOG、左侧距状裂周围皮层、左侧楔叶低频振幅(dALFF)值较针刺前显著下降,表明即刻针刺可能通过平衡偏头痛患者视觉感知的异常活动,缓解畏光、视觉先兆等症状,从而降低偏头痛发作强度。

综上,偏头痛患者VN内部脑区功能活动异常,与视觉感知能力密切相关。针刺干预通过调节VN(枕叶、梭状回、距状裂)节点的异常活动状态,调节各级视觉水平以恢复视觉感知,改善头痛症状发作的强度与频率。

1.3 下行疼痛抑制系统(DPMS)

DPMS的主要脑区包括中脑导水管周围灰质(PAG)、延髓头端腹内侧区(RVM)、ACC、前额叶皮层(PFC)等,在疼痛调控中发挥重要作用,对疼痛信息处理进行双向调控,动态调节痛觉感知^[28-29]。

PAG作为DPMS中的核心脑区,不仅参与下行疼痛控制,还整合多源感觉输入^[30]。刘珊珊等^[31]以PAG为种子点,分析针刺对偏头痛患者全脑FC的影响,结果显示偏头痛患者PAG与右侧小脑8区FC降低;经针刺治疗后PAG与双侧小脑8区、左侧楔前叶FC较治疗前明显增强,提示PAG可能通过小脑-皮层环路调节疼痛。进一步研究显示,针刺偏头痛有效组的左侧PAG与左侧小脑前叶的FC明显较弱,右侧PAG与右侧小脑后叶、双侧额上/中回的FC明显增强,说明PAG与其他脑区的不同FC模式影响镇痛效果^[32]。以上研究表明,偏头痛患者的PAG存在FC异常减弱,而针刺可通过调节PAG与其他脑区之间的FC,恢复疼痛信息整合能力,增强下行抑制,有效减轻疼痛感知。

RVM作为DPMS的另一关键节点,能够双向调控痛觉传递。研究显示,偏头痛患者RVM与三叉神经颈部复合体区域的ALFF值降低,针刺治疗后,偏头痛患者该异常活动恢复至正常水平,表明调节RVM的功能活动是针刺镇痛的机制^[33]。另一项研究显示,与健康人相比,偏头痛患者RVM的dALFF值减弱,经针刺治疗后,RVM的dALFF值显著增加,且RVM及全脑的动态血氧水平依赖性流速变异性与VAS评分呈负相关,与偏头痛特异性生活质量(MSQ)评分呈正相关^[34]。这些结果表明,RVM的异常活动直接影响疼痛信号的传递效率,而针刺可能通过恢复其动态功能平衡,优化DPMS的调控能力。

综上,偏头痛患者存在DPMS中RVM自发动功能活动水平降低及PAG与其他脑区的异常FC减弱,针刺治疗可能通过调节上述脑区间的功能活动,动态调控疼痛传递信号,以减轻偏头痛的痛觉感知。

2 针刺调节偏头痛认知功能脑网络

痛认知是个体基于以往痛体验和痛经验认识,对当前痛觉刺激进行高级处理的过程,涉及对疼痛的评估、记忆和情绪反应等复杂认知功能。神经影像学研究表明,偏头痛患者常伴随意意向性记忆损伤、决策功能下降和情绪调节障碍,这些认知缺陷与多个脑网络的功能失衡密切相关,主要包括默认模式网络(DMN)、突显网络(SN)及执行控制网络(CEN)^[35]。

2.1 DMN

DMN是由内侧前额叶皮层(mPFC)、后扣带回(PCC)、楔前叶、压后皮层、内侧颞叶及后顶叶等脑区组成的静息态功能网络,与海马密切关联^[36]。DMN不仅负责情绪加工、自我内省、意识认知、情景记忆提取等功能活动,还与疼痛抑制有关。研究显示偏头痛患者DMN内PCC/楔前叶与左侧颞中回(MTG)的FC增强,且与PCS量表反刍、放大和无助维度得分呈显著正相关,表明DMN可能参与加剧对疼痛的过度关注和情绪显著性评估,间接放大疼痛感知^[37]。通过概率独立成分分析评估脑网络功能同步性的变化,与健康对照组相比,偏头痛患者DMN、双侧顶内沟、VN中枕叶及SMN的FC减弱,这种改变可能促使疼痛信号从视觉皮层转移到参与疼痛感知和认知处理的下游区域^[38]。此外,研究显示偏头痛发作期间主观疼痛强度与DMN-岛叶的FC减弱相关,此改变成为急性偏头痛的特征性标志^[39]。

前内侧前额叶皮层(amPFC)和背内侧前额叶皮层(dmPFC)是mPFC的主要亚区,amPFC参与疼痛情绪评估和预期处理,其过度激活会增强疼痛的不愉快体验;dmPFC则负责疼痛认知控制和注意力调节,其功能异常导致疼痛过度关注。海马旁回(PHC)则参与疼痛记忆巩固。采用多尺度图匹配分析静息态脑功能网络拓扑特征后,研究者发现偏头痛患者DMN内部脑区间的FC拓扑差异最为显著,提示DMN内各脑区更易发生异常功能重组。针刺干预后,该网络内部脑区间的功能重映射率最高,这一结果表明,针刺可能通过调节DMN脑区间

的异常功能重组,进而改善患者的疼痛程度和生活质量^[40]。贾菁楠等^[41]采用磁共振技术分析,结果显示针刺治疗后偏头痛患者DMN内的左侧PHC与amPFC、dmPFC、颞叶FC较治疗前减弱,双侧PCC与dmPFC的FC较治疗前减弱,表明针刺干预可抑制DMN中内部脑区的异常激活与FC,改善疼痛认知。

颞下回(ITG)与MTG为颞叶的重要组成部分,与疼痛的认知控制与情感反应相关。研究显示,与健康受试者相比,偏头痛患者双侧MTG的ALFF值显著升高,表明偏头痛患者颞叶区域存在显著的自发活动改变^[42]。Yang等^[43]研究显示,针刺干预后偏头痛患者的右侧MTG、ITG区域的ALFF和DC值呈现同步下降,表明针刺可通过降低颞叶自发活动来调节疼痛。体素镜像同伦连接性(VMHC)是反映双侧半球感觉运动协同的重要指标,神经影像学研究显示,小脑、DMN、VN及SMN的VMHC受损可能参与偏头痛发作间期的中枢机制^[44]。张亚男等^[45]研究显示较治疗前,针刺治疗后偏头痛患者双侧楔叶减弱的VMHC明显升高,与贝克焦虑量表评分的改善呈正相关,表明针刺可通过增强双侧楔叶的激活来调节患者焦虑情绪。

综上,偏头痛患者呈现DMN(PCC、MTG)功能活动异常,针刺治疗主要通过抑制DMN(前额叶-PCC)的过度连接、调节颞叶自发活动及增强双侧楔叶协同性,多靶点改善疼痛认知功能。

2.2 突显网络(SN)

SN包括ACC、脑岛等脑区,在疼痛认知控制和整合负面情绪中发挥重要作用^[46]。脑岛位于外侧裂深面,研究表明,脑岛的自发神经活动及FC失衡与疼痛的情绪负荷及内感受性密切相关^[47]。ACC位于脑岛前部的扣带沟与胼胝体沟之间,其功能异常会导致疼痛情绪失调及疼痛记忆的长期强化^[48]。研究显示偏头痛患者双侧ACC的dALFF值较健康人显著降低,且与疼痛强度呈负相关^[49]。Zhang等^[50]研究显示,针刺治疗后偏头痛患者左侧ACC的ALFF值显著降低,且该值与SAS及抑郁自评量表评分改善呈正相关,提示针刺可调节ACC的脑功能活动改善患者的负性情绪。ReHo值是指某个脑区内的体素与其相邻体素在时间序列上的活动一致性。覃小兰等^[51]比较平衡针与非穴组针治疗偏头痛的脑功能效应机制,与非穴组治疗相比,平衡针针刺头痛穴可显著提高ACC和脑岛的ReHo值,以显著缓解偏头痛症状。

以上研究结果显示,偏头痛患者SN内ACC、脑岛及海马的神经激活水平呈现异常改变特征,针刺可通过调控这些关键脑区的功能活动,有效缓解疼痛症状并改善疼痛认知能力。

2.3 执行控制网络(CEN)

CEN主要包括背外侧前额叶(dlPFC)、背侧ACC、腹外侧前额叶皮层等脑区,通过调控疼痛信号、指导行为决策及优化认知资源分配,在疼痛适应和管理中发挥关键作用^[52]。研究表明,偏头痛患者存在抑制控制功能障碍,CEN中的前额叶皮层兴奋性降低^[53]。偏头痛患者在急性疼痛及认知任务执行期间,其脑岛及右侧dlPFC后下额叶沟附近区域存在病理性活动^[54]。额上回(SFG)与MFG为dlPFC的亚区,参与痛觉认知、执行控制功能的调节。陈懿超^[55]研究显示针刺足窍阴可增强左侧MFG和右侧ITG、颞上回、SFG、MFG、楔前叶的ALFF值,说明针刺通过增强dlPFC的自发活动以降低痛觉感知,恢复认知控制功能。同样地,电针率谷前后对比分析结果显示,电针后偏头痛患者ACC与额下回三角部、SFG、MFG等脑区的FC增强,表明电针率谷的即刻效应体现在对CEN的持续激活,并增强其与ACC的协同效应^[14]。

由此可知,偏头痛患者CEN出现dlPFC自发神经活动降低等异常表现,针刺可通过激活dlPFC以促进患者疼痛执行控制功能的重塑与恢复,改善偏头痛所引起的认知损伤与执行功能障碍。

3 针刺调节偏头痛情绪功能脑网络

痛情绪是由疼痛诱发的恐惧、紧张、焦虑、抑郁等负性情绪,标志着疼痛信号经感觉、认知处理后进入高级情感整合阶段。研究显示,偏头痛患者伴有不同程度的焦虑、抑郁、紧张、恐惧等心理情绪改变,与情绪网络(AN)功能失调密切相关^[56]。

AN是指由杏仁核、ACC、眶额叶皮层和海马等脑区组成的情绪调控系统。边缘系统作为调节AN的关键部分,其结构协同工作以调控情绪、记忆和动机等高级功能^[57-58]。杏仁核作为边缘系统的核心核团,在偏头痛的发病机制、慢性化和复发中发挥着至关重要的作用,参与多感官整合异常及疼痛调节缺陷的形成^[59-60]。神经影像学研究证实,偏头痛患者尤其是合并抑郁共病者,常出现杏仁核体积增大及与ITG、眶额回、ACC连接增强,这些改变与头痛频率、病程及负面情绪严重程度呈正相关^[61]。功能磁共振研究显示,偏头痛慢性化的过程中,双侧

杏仁核与其他脑区之间的FC呈现不对称性变化,其中左侧连接增强与情绪体验调控相关,右侧连接降低则与恐惧、悲伤等负性情绪处理相关,这为偏头痛合并情绪障碍提供了影像学依据^[62]。研究显示,与治疗前相比,针刺治疗可显著提高偏头痛患者杏仁核与MFG之间的FC,降低杏仁核与SFG之间的FC,且这两种FC的改变与头痛强度改善率显著相关,表明针刺干预可能通过重建杏仁核与其他脑区间的正常连接模式来发挥治疗作用^[63]。

综上,偏头痛患者的AN呈现出杏仁核过度活化及其与高级皮层连接异常的特征性改变。针刺可能通过重塑杏仁核与相关脑区的FC,实现对偏头痛痛觉-情绪症状和疼痛慢性化的双重调控作用。

4 针刺调节偏头痛功能脑网络交互异常

4.1 痛觉-认知网络

偏头痛患者的痛觉-认知网络异常主要表现为痛觉信息整合与认知功能障碍。徐春阳等^[64]证实偏头痛患者VN内梭状回、舌回及MOG的dFC降低,且与DMN中节点持续存在低dFC状态,可能解释视觉网络受损为偏头痛早期认知功能受损的表现。功能影像学研究显示,偏头痛患者存在丘脑与DMN的FC减弱,这与疼痛相关的注意力和执行功能损害密切相关^[65]。研究显示针刺治疗可增强偏头痛患者SMN-CEN(丘脑-MFG/额下回)的dFC,改善PFC对丘脑痛觉信息的调控作用,从而恢复痛觉-认知网络的动态平衡^[20]。另有研究表明,针刺治疗还可增强偏头痛患者VN-DMN(舌回-楔前叶)的大脑活动,同时恢复视觉与认知处理能力,从而减轻疼痛程度^[66]。以上表明针刺可能通过多靶点调节SMN-CEN、VN-DMN的功能活动,纠正痛觉-认知网络的异常活动。

4.2 痛觉-情绪网络

偏头痛的慢性化过程与痛觉-AN的交互异常密切相关,其病理特征表现为负性情绪对痛觉的放大效应及情绪调控网络的功能紊乱。研究表明,偏头痛患者的情绪加工异常会加重痛觉体验,其中ACC过度激活与疼痛恐惧、焦虑情绪显著相关^[67]。研究显示,偏头痛患者疼痛处理功能损伤会削弱疼痛认知控制和整合负面情绪能力,偏头痛患者PAG与ACC/mPFC之间的静息态功能连接(rs-FC)显著减弱,针刺治疗可增强偏头痛患者DPMS-AN(PAG-rACC)间的rs-FC,提示针刺可能通过恢复痛觉-AN的动态平衡,改善疼痛-负性情绪的恶性循

环^[68]。此外,针刺治疗还可增强VN-AN(左侧MOG-左侧ACC)的rs-FC,且此变化与头痛严重程度、MSQ评分降低密切相关^[69]。这些结果提示,针刺可通过调节DPMS-AN、VN-AN的功能活动,调节痛觉-情绪网络的异常功能活动,改善疼痛处理与情绪整合能力。

4.3 情绪-认知网络

偏头痛患者的情绪-认知网络功能失衡表现为情绪调节能力下降与认知资源分配异常。研究显示,偏头痛患者杏仁核与疼痛认知处理相关脑区之间存在FC异常,该异常可能参与介导认知灵活性的受损和情绪调节能力的下降^[70]。Liu等^[71]观察到,针刺治疗可增强偏头痛患者AN-DMN(右侧杏仁核-左侧MTG)的rsFC值,且该变化程度与患者临床症状的缓解程度呈负相关,表明同时改善患者的执行功能与情绪调节能力可降低患者的疼痛程度。

综上,偏头痛患者存在痛觉-认知-情绪功能网络异常改变,针刺可调节SMN-CEN、VN-DMN、DPMS-AN、VN-AN、AN-DMN的异常功能活动,动态调整痛觉-认知-情绪网络的多元交互,实现偏头痛的多维度干预。

5 小结与展望

偏头痛是一种慢性复杂神经系统疾病,功能脑网络与偏头痛的发生发展密切相关,针刺疗法可通过多层次、多途径的作用改善痛觉、认知、情绪相关脑网络改善偏头痛的疼痛程度、认知功能及负性情绪,发挥治疗偏头痛的作用。本文总结的针刺调节功能脑网络改善偏头痛的作用机制如下:①痛感觉相关网络中,针刺可通过增强SMN(S1/M1、岛叶与小脑、ACC及丘脑与其他脑区)的FC,调控疼痛处理与运动控制,增强处理疼痛相关负性情绪和整合疼痛信息的能力;降低VN(枕叶、梭状回、距状裂)的ALFF值,抑制VN高强度激活状态,恢复疼痛-视觉平衡;调节DPMS(PAG、RVM)异常功能活动,以恢复疼痛信息整合能力。②痛认知相关网络中,针刺可通过抑制DMN(PCC/PFC/颞叶/楔叶)的过度连接,调控疼痛情绪评估与认知控制;增强SN(ACC)及CEN(dIPFC)的功能活动,重塑疼痛执行控制能力,改善疼痛认知功能缺陷。③痛情绪相关网络层面,通过改变情感网络(杏仁核)的FC模式,缓解异常负性情绪。④针刺可动态调整痛觉-认知、痛觉-情绪、情绪-认知网络的多元交互,调节“痛觉-认知-情绪”网络的功能平衡。

针刺干预偏头痛的功能脑网络机制研究虽取得了部分成果,但也存在一些不足:①目前针刺研究多集中于调节偏头痛的痛感觉相关脑网络之间的功能活动,缺乏针刺对单一脑网络的深入探索及痛觉-认知-情绪网络多维度调节研究;②目前缺乏针刺调节偏头痛情绪相关脑网络的深入研究,有研究揭示奖赏网络中伏隔核和杏仁核之间的连接性参与偏头痛痛感觉与痛情绪的形成过程^[72]。这为从奖赏网络与痛情绪层面探索针刺调节偏头痛提供了新思路。③当前研究多集中于脑功能成像的宏观改变,未来应考虑结合微观生理生化机制,深入探索针刺调节偏头痛的效应机制。④为提升研究质量,未来应优化实验设计,控制变量,积极采用先进技术,以全面呈现针刺对偏头痛脑网络的复杂影响。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突。作者严兴科为本刊编委,但未参与本文的审理。

参考文献

- [1] 中国医师协会神经内科医师分会, 中国研究型医院学会头痛与感觉障碍专业委员会. 中国偏头痛诊治指南(2022版)[J]. 中国疼痛医学杂志, 2022, 28(12): 881-898.
Neurologist Branch, Chinese Medical Doctor Association, Special Committee for Headache and Sensory Disorders, Chinese Research Hospital Association. Guidelines for diagnosis and treatment of migraine in China (2022 edition) (in Chinese)[J]. Chinese Journal of Pain Medicine, 2022, 28(12): 881-898.
- [2] Stovner L J, Hagen K, Linde M, et al. The global prevalence of headache: an update, with analysis of the influences of methodological factors on prevalence estimates [J]. J Headache Pain, 2022, 23(1): 34.
- [3] Steinmetz J D, Seehr K M, Schiess N, et al. Global, regional, and national burden of disorders affecting the nervous system, 1990 - 2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021 [J]. Lancet Neurol, 2024, 23(4): 344-381.
- [4] Ashina M, Katsarava Z, Do T P, et al. Migraine: epidemiology and systems of care [J]. Lancet, 2021, 397(10283): 1485-1495.
- [5] Kim J, Lee D A, Lee H J, et al. Multilayer network changes in patients with migraine [J]. Brain Behav, 2023, 13(12): e3316.
- [6] Silvestro M, Tessitore A, Caiazzo G, et al. Disconnectome of the migraine brain: a "connectopathy" model [J]. J Headache Pain, 2021, 22(1): 102.
- [7] 邓凯峰, 李雪, 陆惠玲, 等. 针刺对偏头痛患者疼痛及脑血流动力学的影响: 随机对照研究[J]. 中国针灸, 2021, 41(2): 115-120.
Deng K F, Li X, Lu H L, et al. Effect of acupuncture on pain and cerebral hemodynamics in patients with migraine: a randomized controlled trial (in Chinese) [J]. Chinese Acupuncture & Moxibustion, 2021, 41(2): 115-120.
- [8] Xu S B, Yu L L, Luo X, et al. Manual acupuncture versus sham acupuncture and usual care for prophylaxis of episodic migraine without aura: multicentre, randomised clinical trial [J]. BMJ, 2020, 368: m697.
- [9] 刘一, 周梦获, 郑宇琦, 等. 针刺调控偏头痛大鼠三叉神经脊束核中星形胶质细胞缝隙连接蛋白43抑制干扰素- γ 的抗炎镇痛机制[J]. 针刺研究, 2023, 48(2): 118-124.
Liu Y, Zhou M D, Zheng Y Q, et al. Acupuncture relieves pain by inhibiting expression of Cx43 in astrocytes and release of interferon- γ in neurons of trigeminal spinal nucleus in rats with migraine (in Chinese)[J]. Acupuncture Research, 2023, 48(2): 118-124.
- [10] Liu L, Li W Z, Wang L P, et al. Proteomic and metabolomic profiling of acupuncture for migraine reveals a correlative link via energy metabolism [J]. Front Neurosci, 2022, 16: 1013328.
- [11] 高小雨, 田甜, 王潇, 等. 基于fMRI探究针刺对无先兆偏头痛患者脑功能活动的影响[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2025, 23(2): 185-190, 207.
Gao X Y, Tian T, Wang X, et al. Exploring the effect of acupuncture on brain functional activity in migraine without aura based on fMRI technology (in Chinese) [J]. Chinese Imaging Journal of Integrated Traditional and Western Medicine, 2025, 23(2): 185-190, 207.
- [12] Messina R, Gollion C, Christensen R H, et al. Functional MRI in migraine [J]. Curr Opin Neurol, 2022, 35(3): 328-335.
- [13] 张记磊. 多模态磁共振成像探究无先兆偏头痛的影像学特征[D]. 上海: 华东师范大学, 2018.
Zhang J L. Investigation of imaging features in migraine without aura using multi-modal magnetic resonance imaging (in Chinese) [D]. Shanghai: East China Normal University, 2018.
- [14] 罗诗蕾, 刘姗姗, 魏翔宇, 等. 电针率谷穴任务对偏头痛患者疼痛相关脑网络的影响[J]. 中国中医基础医学杂志, 2022, 28(9): 1483-1487.
Luo S L, Liu S S, Wei X Y, et al. Effects of electroacupuncture on Shuaigu on pain-related functional network of migraine patients: a task-fMRI study (in Chinese) [J]. Chinese Journal of Basic Medicine in Traditional Chinese Medicine, 2022, 28(9): 1483-1487.
- [15] Ke J, Yu Y, Zhang X D, et al. Functional alterations in the posterior *Insula* and cerebellum in migraine without aura: a resting-state MRI study [J]. Front Behav Neurosci, 2020, 14: 567588.
- [16] Mathur V A, Moayed M, Keaser M L, et al. High frequency migraine is associated with lower acute pain sensitivity and abnormal insula activity related to migraine pain intensity, attack frequency, and pain catastrophizing [J]. Front Hum Neurosci, 2016, 10: 489.

- [17] 陈荷清. 针刺治疗偏头痛的临床疗效评价及相关静息态功能磁共振成像研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2020.
- Chen H Q. Clinical efficacy evaluation of acupuncture for migraine and related resting-state functional magnetic resonance imaging studies (in Chinese)[D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2020.
- [18] Chen X Y, Chen Z Y, Dong Z, et al. Regional volume changes of the brain in migraine chronification [J]. *Neural Regen Res*, 2020, 15(9): 1701-1708.
- [19] Chang Y, Zhang X W, Xiao S B, et al. Evidence for brain glial activity in chronic migraine patients: a [^{11}C] PBR28 PET/MR study[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 52(11): 4334-4344.
- [20] 侯逸轩, 詹松华, 谭文莉, 等. 基于丘脑动态功能连接预测针刺治疗无先兆偏头痛疗效的研究[J]. *临床放射学杂志*, 2025, 44(1): 14-20.
- Hou Y X, Zhan S H, Tan W L, et al. Prediction of therapeutic effect of acupuncture on migraine without aura based on dynamic functional connection of thalamus (in Chinese)[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2025, 44(1): 14-20.
- [21] Başarı A, Boran H E, Vuralli D, et al. Visual temporal discrimination is impaired in patients with migraine without aura[J]. *Headache*, 2023, 63(2): 202-210.
- [22] Wei H L, Zhou X, Chen Y C, et al. Impaired intrinsic functional connectivity between the thalamus and visual cortex in migraine without aura [J]. *J Headache Pain*, 2019, 20(1): 116.
- [23] Liu G Y, Chen Y C, Cao Z M, et al. Mechanistic investigation of acupuncture treatment in patients with migraine: Evidence from brain imaging study (I) [J]. *World J Acupunct Moxibust*, 2024, 34(1): 16-23.
- [24] Ma M M, Zhang J R, Chen N, et al. Exploration of intrinsic brain activity in migraine with and without comorbid depression [J]. *J Headache Pain*, 2018, 19(1): 48.
- [25] 蒋楠楠. 基于fMRI的针刺治疗偏头痛和紧张型头痛患者中枢响应差异的研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2023.
- Jiang N N. Different several responses to acupuncture treatment between migraine and tension-type headache patient: an fMRI study (in Chinese)[D]. Chengdu: Chengdu University of TCM, 2023.
- [26] Yin T, Sun G J, Tian Z L, et al. The spontaneous activity pattern of the middle occipital gyrus predicts the clinical efficacy of acupuncture treatment for migraine without aura [J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 588207.
- [27] 刘飞, 徐春阳, 杨玉婵, 等. 针刺偏头痛患者即刻脑效应机制的fMRI研究[J]. *中国中西医结合影像学杂志*, 2025, 23(2): 180-184.
- Liu F, Xu C Y, Yang Y C, et al. An fMRI study of elucidating immediate cerebral effects mechanisms of electroacupuncture in migraine without aura (in Chinese)[J]. *Chinese Imaging Journal of Integrated Traditional and Western Medicine*, 2025, 23(2): 180-184.
- [28] Yao D D, Chen Y R, Chen G. The role of pain modulation pathway and related brain regions in pain [J]. *Rev Neurosci*, 2023, 34(8): 899-914.
- [29] Kelleher E M, Lange F, Wanigasekera V, et al. Brain signatures of nociplastic pain: fibromyalgia index and descending modulation at population level [J]. *Brain*, 2026, 149(4): 1365-1380.
- [30] Makovac E, Venezia A, Hohenschurz-Schmidt D, et al. The association between pain-induced autonomic reactivity and descending pain control is mediated by the periaqueductal grey [J]. *J Physiol*, 2021, 599(23): 5243-5260.
- [31] 刘姗姗, 魏翔宇, 罗诗蕾, 等. 针刺治疗无先兆偏头痛的静息态功能磁共振研究[J]. *中国针灸*, 2022, 42(10): 1094-1100.
- Liu S S, Wei X Y, Luo S L, et al. Effect of acupuncture on migraine without aura: a resting-state functional magnetic resonance study (in Chinese) [J]. *Chinese Acupuncture & Moxibustion*, 2022, 42(10): 1094-1100.
- [32] 刘大鹏. 基于fMRI探讨针刺治疗偏头痛疗效差异的中枢机制[D]. 北京: 北京中医药大学, 2020.
- Liu D P. Central mechanisms underlying efficacy differences of acupuncture for migraine: an fmri-based investigation (in Chinese) [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2020.
- [33] Li Z J, Zeng F, Yin T, et al. Acupuncture modulates the abnormal brainstem activity in migraine without aura patients [J]. *NeuroImage Clin*, 2017, 15: 367-375.
- [34] Chen Y L, Kang Y J, Luo S L, et al. The cumulative therapeutic effect of acupuncture in patients with migraine without aura: evidence from dynamic alterations of intrinsic brain activity and effective connectivity [J]. *Front Neurosci*, 2022, 16: 925698.
- [35] Krimmel S R, DeSouza D D, Keaser M L, et al. Three dimensions of association link migraine symptoms and functional connectivity [J]. *J Neurosci*, 2022, 42(31): 6156-6166.
- [36] Cankaya S, Ayyildiz B, Sayman D, et al. Hippocampal connectivity dynamics and volumetric alterations predict cognitive status in migraine: a resting-state fMRI study [J]. *NeuroImage*, 2025, 305: 120961.
- [37] 刘丹. 偏头痛的脑网络异常特征及神经调控靶点研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2025.
- Liu D. Study on the abnormal characteristics of brain network and the target of neural regulation in migraine (in Chinese) [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2025.
- [38] Soheili-Nezhad S, Sedghi A, Schweser F, et al. Structural and functional reorganization of the brain in migraine without aura [J]. *Front Neurol*, 2019, 10: 442.
- [39] Coppola G, di Renzo A, Tinelli E, et al. Resting state connectivity between default mode network and *Insula* encodes acute migraine headache [J]. *Cephalalgia*, 2018, 38(5): 846-854.

- [40] 朱丽颖. 基于图匹配方法探究针刺对无先兆型偏头痛皮质功能连接体重组的调节效应[D]. 北京: 北京中医药大学, 2024.
- Zhu L Y. Regulatory effects of acupuncture on cortical functional connectivity reorganization in migraine without aura: an investigation based on graph matching method (in Chinese) [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2024.
- [41] 贾菁楠, 闫超群, 齐晓环, 等. 基于功能磁共振初探针刺对偏头痛患者默认模式网络的影响[J]. 中国针灸, 2021, 41(10): 1074-1078.
- Jia J N, Yan C Q, Qi X H, et al. Effect of acupuncture on default mode network in patients with migraine based on functional magnetic resonance imaging: a preliminary study (in Chinese) [J]. Chinese Acupuncture & Moxibustion, 2021, 41(10): 1074-1078.
- [42] 罗焯之. 基于fMRI技术探索偏头痛发病机制和针刺调节的中枢效应机制[D]. 北京: 北京中医药大学, 2023.
- Luo X Z. Exploring the pathogenesis of migraine and the central effect mechanism of acupuncture regulation based on fMRI technology (in Chinese) [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2023.
- [43] Yang Y C, Wei X Y, Zhang Y Y, et al. Modulation of temporal and occipital cortex by acupuncture in non-menstrual MWoA patients: a rest BOLD fMRI study [J]. BMC Complement Med Ther, 2024, 24(1): 43.
- [44] Zhang Y N, Liu N, Wang Z J, et al. Impaired inter-hemispheric functional connectivity during resting state in female patients with migraine [J]. Brain Sci, 2022, 12(11): 1505.
- [45] 张亚男, 刘璐, 张雅杰, 等. 无先兆偏头痛患者针刺治疗后双侧楔叶的镜像同伦功能连接改变[J]. 磁共振成像, 2022, 13(6): 50-55.
- Zhang Y N, Liu L, Zhang Y J, et al. Changes in voxel-mirrored homotopic connectivity of bilateral *Cuneus* after acupuncture in migraine without aura patients (in Chinese) [J]. Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2022, 13(6): 50-55.
- [46] De Ridder D, Adhia D, Vanneste S. The anatomy of pain and suffering in the brain and its clinical implications [J]. Neurosci Biobehav Rev, 2021, 130: 125-146.
- [47] Yu D H, Yuan K, Luo L, et al. Abnormal functional integration across core brain networks in migraine without aura [J]. Mol Pain, 2017, 13: 1744806917737461.
- [48] Journée S H, Mathis V P, Fillinger C, et al. Janus effect of the anterior cingulate cortex: Pain and emotion [J]. Neurosci Biobehav Rev, 2023, 153: 105362.
- [49] Chen H, Qi G Q, Zhang Y X, et al. Altered dynamic amplitude of low-frequency fluctuations in patients with migraine without aura [J]. Front Hum Neurosci, 2021, 15: 636472.
- [50] Zhang Y T, Wang Z W, Du J R, et al. Regulatory effects of acupuncture on emotional disorders in patients with menstrual migraine without aura: a resting-state fMRI study [J]. Front Neurosci, 2021, 15: 726505.
- [51] 覃小兰, 王文远, 王进忠, 等. 平衡针镇痛效应观察及脑功能局部一致性分析[J]. 针刺研究, 2019, 44(6): 446-450.
- Qin X L, Wang W Y, Wang J Z, et al. Analysis on regional homogeneity of resting brain during balance acupuncture-induced analgesic effect in migraine patients without aura (in Chinese) [J]. Acupuncture Research, 2019, 44(6): 446-450.
- [52] Jones D T, Graff-Radford J. Executive dysfunction and the prefrontal cortex [J]. Continuum (Minneapolis), 2021, 27(6): 1586-1601.
- [53] Chen G L, Li Y S, Dong Z, et al. Response inhibition alterations in migraine: evidence from event-related potentials and evoked oscillations [J]. J Headache Pain, 2020, 21(1): 119.
- [54] Stewart B W, Keaser M L, Lee H, et al. Pathological claustrum activity drives aberrant cognitive network processing in human chronic pain [J]. bioRxiv, 2023;34(9):1953-1966.
- [55] 陈懿超. 针刺足窍阴治疗少阳经型无先兆偏头痛的静息态功能磁共振研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2023.
- Chen Y C. Resting-state functional magnetic resonance imaging study on acupuncture at Zuqiaoyin (GB44) for migraine without aura of Shaoyang meridian type (in Chinese) [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2023.
- [56] 中国医师协会神经内科医师分会疼痛与感觉障碍学组. 偏头痛与抑郁障碍共病诊治中国专家共识[J]. 中国疼痛医学杂志, 2020, 26(12): 881-890.
- Pain and Sensory Disorders Group, Neurologist Branch, Chinese Medical Doctor Association. China expert consensus on diagnosis and treatment of comorbidity of migraine and depression (in Chinese) [J]. Chinese Journal of Pain Medicine, 2020, 26(12): 881-890.
- [57] Barroso J, Branco P, Apkarian A V. Brain mechanisms of chronic pain: critical role of translational approach [J]. Transl Res, 2021, 238: 76-89.
- [58] Catani M, Dell'acqua F, Thiebaut de Schotten M. A revised limbic system model for memory, emotion and behaviour [J]. Neurosci Biobehav Rev, 2013, 37(8): 1724-1737.
- [59] Husøy A K, Pintzka C, Eikenes L, et al. Volume and shape of subcortical grey matter structures related to headache: a cross-sectional population-based imaging study in the Nord-Trøndelag Health Study [J]. Cephalalgia, 2019, 39(2): 173-184.
- [60] Huang X B, Zhang D, Wang P, et al. Altered amygdala effective connectivity in migraine without aura: evidence from resting-state fMRI with Granger causality analysis [J]. J Headache Pain, 2021, 22(1): 25.
- [61] Chen X, Gui W, Li H L, et al. Alterations of amygdala volume and functional connectivity in migraine patients comorbid with and without depression [J]. Brain Behav, 2024, 14(2): e3427.
- [62] Chen Z Y, Chen X Y, Liu M Q, et al. Altered functional connectivity of amygdala underlying the neuromechanism of

- migraine pathogenesis[J]. *J Headache Pain*, 2017, 18(1): 7.
- [63] Tian Z L, Guo Y G, Yin T, et al. Acupuncture modulation effect on pain processing patterns in patients with migraine without aura[J]. *Front Neurosci*, 2021, 15: 729218.
- [64] 徐春阳, 詹松华, 谭文莉, 等. 基于功能MRI无先兆偏头痛患者动态功能连接研究[J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2023, 29(3): 241-246.
- Xu C Y, Zhan S H, Tan W L, et al. Dynamic functional connectivity study in patients with migraine without aura based on functional MRI (in Chinese) [J]. *Chinese Computed Medical Imaging*, 2023, 29(3): 241-246.
- [65] Yang Y, Xu H, Deng Z R, et al. Functional connectivity and structural changes of thalamic subregions in episodic migraine [J]. *J Headache Pain*, 2022, 23(1): 119.
- [66] Li C, Li X Y, He K, et al. Discovery of the mechanisms of acupuncture in the treatment of migraine based on functional magnetic resonance imaging and omics[J]. *Front Med*, 2023, 17(5): 993-1005.
- [67] Ou Y X, Ni X X, Gao X Y, et al. Structural and functional changes of anterior cingulate cortex subregions in migraine without aura: relationships with pain sensation and pain emotion[J]. *Cereb Cortex*, 2024, 34(2): bhae040.
- [68] Li Z J, Liu M L, Lan L, et al. Altered periaqueductal gray resting state functional connectivity in migraine and the modulation effect of treatment[J]. *Sci Rep*, 2016, 6: 20298.
- [69] 洪嘉慧. 针刺“王氏五穴八针”调节无先兆偏头痛疼痛相关脑网络的临床研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2022.
- Hong J H. Clinical study on acupuncture of “Wang’s five points eight needles” in regulating pain-related brain networks of migraine without aura (in Chinese) [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2022.
- [70] Nahman-Averbuch H, Schneider II V J, Lee G R, et al. New insight into the neural mechanisms of migraine in adolescents: relationships with sleep [J]. *Headache J Head Face Pain*, 2022, 62(6): 668-680.
- [71] Liu L, Lyu T L, Fu M Y, et al. Changes in brain connectivity linked to multisensory processing of pain modulation in migraine with acupuncture treatment [J]. *Neuroimage Clin*, 2022, 36: 103168.

收稿日期:2025-11-26 修回日期:2025-12-30