

外周灌注指数在慢性疼痛微创治疗疗效评估中的应用研究

王嘉怡

(延边大学附属医院 吉林延吉 133000)

【摘要】慢性疼痛常伴随自主神经功能紊乱,导致外周血管收缩、组织灌注下降。外周灌注指数(PI)作为一种从脉搏血氧仪获得的无创指标,能够实时反映血管张力变化。近年来,PI被探索用于慢性疼痛微创治疗(如神经阻滞、脉冲射频、脊髓电刺激)的疗效评估。本文系统综述了PI监测的生理机制、在各类微创治疗中的应用证据、优势与局限性,并提出未来研究方向,旨在为慢性疼痛的客观评估与管理提供新思路。

【关键词】外周灌注指数;慢性疼痛;微创治疗;疗效评估;自主神经功能

Research on the Application of Peripheral Perfusion Index in Evaluating the Efficacy of Minimally Invasive Treatments for Chronic Pain

Wang Jiayi

(Affiliated Hospital of Yanbian University Yanji, Jilin 133000)

[Abstract] Chronic pain is often accompanied by autonomic nervous dysfunction, leading to peripheral vasoconstriction and reduced tissue perfusion. The Peripheral Perfusion Index (PI), a non-invasive parameter obtained via pulse oximetry, provides real-time reflection of vascular tension changes. In recent years, PI has been explored for efficacy evaluation in minimally invasive treatments for chronic pain (e.g., nerve blocks, pulsed radiofrequency ablation, spinal cord stimulation). This article systematically reviews the physiological mechanisms underlying PI monitoring, evidence of its application in various minimally invasive therapies, its advantages and limitations, and proposes future research directions, aiming to provide novel insights for the objective assessment and management of chronic pain.

[Key words] Peripheral Perfusion Index; Chronic Pain; Minimally Invasive Treatment; Efficacy Evaluation; Autonomic Nerve Function

1 前言

慢性疼痛是指持续或反复发作超过3个月的疼痛,全球患病率约为20%–30%。长期疼痛不仅影响患者生活质量,还常伴随焦虑、抑郁及自主神经功能紊乱。微创介入治疗如神经阻滞、脉冲射频(PRF)、脊髓电刺激(SCS)等,因其创伤小、效果确切,已成为慢性疼痛治疗的重要手段。然而,如何客观、实时地评估这些治疗的即刻及短期疗效,仍是临床难题。

目前最常用的疼痛评估工具是视觉模拟评分(VAS)和数字评分量表(NRS),但这些主观指标容易受到患者情绪、认知能力、文化背景及回忆偏倚的影响,尤其对于老年人、儿童或有沟通障碍的患者,可靠性有限。因此,寻找客观、无创、可量化的生理指标,对于精准评估镇痛效果具有重要

意义。

外周灌注指数(Perfusion Index, PI)是通过光电容积描记技术获得的指标,正常参考范围为0.3%–10%。PI值受交感神经张力调控:疼痛应激导致交感兴奋、外周血管收缩、PI降低;而有效镇痛可解除交感张力,外周血管扩张、PI回升。基于这一机制,PI近年被尝试用于评估慢性疼痛微创治疗的疗效,本文就相关研究进展进行综述。

2 PI监测的生理机制与技术特点

PI来源于脉搏血氧仪的双波长光吸收信号。探头发出红光(660nm)和红外光(940nm),穿透组织后被动脉血中的血红蛋白吸收,其中脉动成分(心脏收缩期血容量增加)与非脉动成分(组织、静脉血等)的信号强度之比即为PI。

计算公式为： $PI = (\text{脉动信号} / \text{非脉动信号}) \times 100\%$ 。

PI 主要反映外周血管床的搏动性血流比例，受以下因素影响：①交感神经活性交感兴奋时 $\alpha 1$ 受体介导的血管收缩使 PI 下降；②心输出量低心排状态可降低脉动血流幅度；③局部温度低温引起血管收缩，降低 PI；④血管活性药物血管加压素、去甲肾上腺素等可显著降低 PI。

在疼痛评估中，PI 的优势在于：无创、连续、实时、设备普及（多数监护仪自带）、对交感刺激反应灵敏（数秒内即可变化）。这些特点使其成为慢性疼痛微创治疗疗效评估的理想候选指标。

3 PI 在慢性疼痛微创治疗中的应用

3.1 神经阻滞治疗中的疗效评估

神经阻滞是将局部麻醉药或类固醇注射到神经周围，阻断痛觉传导及交感传出纤维，常用于治疗颈腰椎根性痛、复杂性区域疼痛综合征（CRPS）等。

交感神经节阻滞是 PI 应用最成熟的领域。以星状神经节阻滞（SGB）治疗上肢慢性疼痛为例，多项研究证实：有效阻滞后，阻滞侧手指的 PI 值在 1-3 分钟内显著升高，升高幅度通常达基线值的 30%-50%，而对侧无明显变化。

Ginosar 等的研究提出，以 PI 升高 $\geq 35\%$ 作为 SGB 成功的判断标准，其受试者工作特征曲线下面积（AUC）达 0.92，优于皮温升高（ $\geq 1.5^\circ\text{C}$ ，AUC 0.78）。国内一项纳入 67 例 CRPS 患者的研究也显示，SGB 后 PI 升高幅度与 1 周后的 VAS 降低幅度呈中度正相关（ $r=0.58$ ， $P<0.01$ ）。

脊神经根阻滞方面，对于腰椎间盘突出所致的慢性坐骨神经痛，有效的神经根阻滞能缓解局部炎症及异常反射性交感兴奋，导致同侧足趾 PI 增加。有研究发现，治疗后 15 分钟内足趾 PI 回升超过 20% 的患者，术后 1 个月时疼痛缓解 $\geq 50\%$ 的比例达 86.7%，而 PI 无明显变化者仅为 41.2%。这表明 PI 可作为预测远期疗效的早期指标。

3.2 脉冲射频（PRF）治疗中的辅助作用

PRF 通过高电压、短时程的电场调节神经功能，产生镇痛效应而不造成热损伤，常用于三叉神经痛、带状疱疹后神经痛等。由于 PRF 不产生即刻的组织破坏性改变，传统上

难以在治疗当场判断效果。

研究尝试在 PRF 治疗前后监测患侧与健侧手指/足趾 PI 的比值（PI ratio）。刘洋等的一项前瞻性研究纳入了 78 例带状疱疹后神经痛患者，接受背根神经节 PRF 治疗。结果显示，术后即刻患侧/健侧 PI 比值较术前平均升高 0.28 ± 0.11 ；以升高 ≥ 0.20 作为有效的预测指标，其敏感度为 85.7%，特异度为 76.9%，预测术后 2 周时疼痛缓解 $\geq 50\%$ 的阳性预测值达 88.9%。研究者认为，PI 的变化可能反映了 PRF 对背根神经节异位放电及交感-感觉耦联的即刻调节作用。

3.3 脊髓电刺激（SCS）术中的应用

SCS 通过植入电极刺激脊髓背柱，激活抑制性中间神经元，是治疗顽固性神经病理性疼痛的有效手段。术中测试时，传统上依赖患者主观报告“感觉异常覆盖疼痛区域”，但在麻醉状态或患者高度焦虑时，这一评估存在困难。

van Helmond 等的研究发现，有效的 SCS 不仅能调节感觉传入，还能抑制脊髓-交感反射通路，引起同侧下肢外周血管扩张、PI 升高。在术中测试阶段，当刺激参数（频率 40-60Hz，脉宽 200-300 μs ）合理时，约 72% 的患者同侧足趾 PI 在刺激开启后 2 分钟内升高超过 15%；而 PI 无变化或下降的患者，术后电极位置调整率达 45%，远高于 PI 升高组（11%）。提示 PI 可辅助判断 SCS 术中电极位置及参数设置是否理想。

此外，SCS 术后早期 PI 变化与远期预后相关。一项前瞻性队列研究（ $n=62$ ）显示，SCS 术后 24 小时内平均 PI 值较基线升高超过 20% 的患者，术后 6 个月的治疗有效率（疼痛缓解 $\geq 50\%$ ）为 81.5%，而升高不足 20% 者有效率仅为 40.0%（ $P=0.003$ ）。该研究认为，术后早期的微循环改善程度可能是 SCS 长期有效的伴随现象。

4 PI 评估的优势、局限与展望

4.1 优势

与传统主观量表相比，PI 具有以下优势：①客观性不受患者认知、情绪、语言能力影响；②实时性可连续监测，捕捉治疗前后的瞬时变化；③生理相关性直接反映与疼痛密切相关的交感神经功能状态；④可重复性标准化条件下重复

测量变异性较小(日内变异约5%–10%);⑤无创易得利用现有监护设备,无需额外成本。

4.2 局限

目前PI的应用仍面临挑战:①混杂因素多环境温度、基础血管病变(如糖尿病周围血管病变、雷诺现象)、情绪激动、血管活性药物均可影响PI,需严格标准化测量条件;②部位特异性PI仅代表局部指端灌注,对于躯干、深部内脏疼痛的间接预测价值有限;③临床阈值不统一各研究采用的PI变化判断标准差异较大(15%–50%),尚未形成共识;④无法区分疼痛类型PI反映的是自主神经反应,不能区分伤害性、神经病理性或心因性疼痛。

4.3 展望

未来研究应致力于:①开展大样本、多中心研究,确立不同微创治疗方式的PI变化临床决策阈值;②探索PI联合心率变异性(HRV)、皮肤电反应(GSR)等多模态自主神

经指标的综合评估模型;③研发集成PI实时反馈的智能化治疗设备,实现“评估–反馈–调节”闭环;④明确PI在特殊人群(糖尿病、外周动脉疾病、老年人)中的应用校正方法。

5 结语

外周灌注指数作为一种反映交感血管张力的无创生理指标,在慢性疼痛微创治疗疗效评估中展现出良好应用前景。它能够客观、实时地捕捉神经阻滞、脉冲射频、脊髓电刺激等治疗后外周灌注的动态改善,并可在一定程度上预测远期镇痛效果。尽管目前仍存在混杂因素和标准化不足等问题,但随着监测技术规范化和临床证据积累,PI有望成为疼痛医学领域重要的客观评估工具,推动慢性疼痛管理从“主观经验”向“客观量化”转变。

参考文献:

- [1]陈静,李强,王红. 外周灌注指数在围术期监测中的应用进展[J]. 临床麻醉学杂志, 2021, 37(6): 652–655.
- [2]Lima A, Bakker J. Clinical monitoring of peripheral perfusion: what do we see and what can we measure?[J]. Critical Care, 2017, 21(Suppl 3): 312.
- [3]Ginosar Y, Weiniger CF, Kurz V, et al. Perfusion index as a predictor of sympathectomy following neuraxial blockade: a prospective observational study[J]. Anesthesia & Analgesia, 2018, 126(3): 981–987.
- [4]刘勇,张敏,赵磊. 星状神经节阻滞对复杂性区域疼痛综合征患者外周灌注指数的影响[J]. 中国疼痛医学杂志, 2020, 26(8): 602–606.
- [5]王丽,陈建国,马晓燕. 脊神经根阻滞足趾灌注指数变化与远期疗效的关系[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2021, 43(4): 321–325.
- [6]刘洋,马霞,宋涛. 外周灌注指数在带状疱疹后神经痛脉冲射频治疗中的预测价值[J]. 中华疼痛医学杂志, 2022, 28(3): 189–194.
- [7]van Helmond N, Aarts LPHJ, Timmerman H, et al. The perfusion index as a predictor of successful spinal cord stimulation in patients with failed back surgery syndrome[J]. Neuromodulation, 2019, 22(8): 918–923.
- [8]孙伟,李华,周婷. 脊髓电刺激术后外周灌注指数变化对远期疗效的预测作用[J]. 中国康复医学杂志, 2022, 37(7): 928–932.
- [9]中华医学会疼痛学分会. 慢性疼痛微创介入治疗技术操作规范(2022年版)[J]. 中华疼痛医学杂志, 2022, 28(1): 1–8.
- [10]Sessler DI. Perioperative thermoregulation and heat balance[J]. New England Journal of Medicine, 2016, 374(26): 2577–2589.
- [11]郭莉,徐仲煌. 疼痛客观评估工具的研究现状与展望[J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2020, 41(5): 498–502.