

区域阻滞用于经皮椎间孔镜技术麻醉的研究进展

赵婉璐 安海燕[△]

(北京大学人民医院麻醉科, 北京 100044)

摘要 随着快速康复外科 (enhanced recovery after surgery, EARS) 及舒适化医疗理念的发展, 经皮椎间孔镜技术已成功应用于部分脊柱手术, 其通过孔道式入路及内镜技术实现损伤最小化。为了避免术中医源性神经损伤, 常采用区域阻滞联合静脉镇痛药作为其主要的麻醉方式以保留病人意识及神经易感性。围手术期良好的镇痛管理不仅是术者手术操作顺利进行的基础, 更是加快病人功能锻炼及康复的关键。现已有多种区域阻滞方式联合可视化技术成功应用于经皮椎间孔镜下腰椎手术的围手术期镇痛。本文将依次介绍近年应用于椎间孔镜技术区域阻滞的方案及其优劣势, 旨在使病人更舒适更安全的完成微创手术, 缩短病人术后功能锻炼和康复时间, 提高满意度及再手术意愿, 实现快速康复理念。

关键词 经皮椎间孔镜技术; 区域阻滞; 快速康复外科

Research progress on regional block for percutaneous foraminoscopic anesthesia

ZHAO Wan-lu, AN Hai-yan[△]

(Department of Anesthesiology, Peking University People's Hospital, Beijing 100044, China)

Abstract The progress in enhanced recovery after surgery (EARS) and the comfort medicine approach has enabled the effective implementation of percutaneous foraminal endoscopy in a range of spinal surgeries. This procedure utilizes a minimally invasive strategy and endoscopic technology to reduce tissue trauma. To prevent inadvertent nerve damage, a combination of regional block and intravenous analgesia has become the preferred anesthesia method, allowing for patient awareness and nerve sensitivity during the operation. Effective pain management in the perioperative period is not only crucial for a smooth surgical process but also essential for the patient's subsequent functional training and recovery. The integration of various regional block techniques with advanced visualization tools has proven effective in providing pain relief during lumbar spine surgeries performed with transforaminal endoscopy. This article will examine the latest popular regional block and analgesic strategies, assessing their benefits and drawbacks, with the objective of enhancing patient comfort and safety during surgery. The aim is to reduce postoperative recovery time for functional exercises, improve patient satisfaction, and foster a greater readiness for reoperation, adhering to the principles of rapid recovery.

Keywords percutaneous foraminal endoscopic technique; regional block; enhanced recovery after surgery

经皮椎间孔镜技术为目前治疗椎间盘突出症主要微创手段之一。与传统开放性手术相比, 脊柱内镜下行腰椎手术可以精确有效地解除神经压迫, 减少骨骼肌肉及韧带结构损伤, 增加脊柱稳定性, 缩短下床恢复及住院时间并减轻医疗经济负担^[1,2]。椎间孔镜技术常采用棘突旁侧后方入路, 依次经过皮肤、皮下组织、浅筋膜、胸腰筋膜浅中深三层及其间的竖脊肌和腰方肌, 其后沿下位椎体上关节突与横突上缘进入工作三角。该穿刺路径损伤的大多组织(包括皮肤、肌肉、韧带等)由脊神经后支的内外侧支

所支配, 可引起背部浅表伤害性疼痛。切割布满窦椎神经末梢网的后纵韧带及炎性纤维环等组织可引起深部腰背痛^[3]。髓核取出期间硬膜囊及神经根挤压引起神经放射性疼痛。

目前有关脊柱内镜围手术期麻醉方法仍然存在争议^[2]。全身麻醉可放松病人背部肌肉, 有利于术野的暴露及操作, 但布满的神经根不易与椎间隙组织辨认, 易造成医源性神经损伤甚至截瘫。为保证术中神经的伤害性刺激的及时反馈, 局部浸润麻醉方案被许多医师推崇^[4,5]。然而大多数清醒病人会在

[△] 通信作者 安海燕 anhaiyan2020@163.com



围手术期经历不同程度疼痛,镇痛不足将引起躯体及精神过度应激和血流动力学波动,增加病人心脑血管不良事件风险。难以耐受疼痛的病人术中无法保持制动,严重影响术者手术操作,将承担临时取消手术及更改全身麻醉的风险^[6]。当局部麻醉合并静脉辅助药物时,频繁过量地使用镇静药及镇痛药将增加恶心呕吐、呼吸抑制等不良事件发生风险,为俯卧位手术病人的气道及呼吸管理带来挑战。

随着微创脊柱外科手术的发展,围手术期镇痛方案的创新和优化顺应其来,区域阻滞已逐渐取代传统单一的局部浸润麻醉及全身麻醉技术。可视化技术与区域阻滞的结合使围手术期镇痛技术更精准更安全。筋膜平面阻滞技术应用大容量局部麻醉药扩散浸润从而实现痛觉信号传导的阻断,无需定位神经,效果确切且易操作。近年椎管内麻醉再次被关注,部分研究致力于其局部麻醉药容量及浓度的选择以达到有效镇痛效果的同时不影响术后恢复时间。本文将依次介绍近年应用于椎间孔镜技术区域阻滞麻醉的方案及其优劣势,旨在使病人更舒适更安全的完成微创手术,缩短病人术后功能锻炼和康复时间,提高满意度及再手术意愿,实现快速康复外科理念。

一、局部浸润麻醉

局部浸润麻醉(local infiltration anesthesia, LIA)联合单次或持续泵注镇痛类药物为椎间孔镜手术最常见的麻醉方式。该方案在满足病人镇痛需求的基础上最大程度保留病人术中神经损伤的感觉运动反馈,避免全身麻醉相关并发症,缩短病人术后康复时间及住院费用^[3]。

1. 传统局部浸润麻醉

局部浸润麻醉通常将药物逐层注入皮肤、皮下组织直至关节突等穿刺点路径,阻滞周围神经末梢,其操作简单且切口镇痛效果确切。但盲穿对于解剖定位困难病人需考虑穿刺相关风险,针尖位置及药物扩散不理想时导致阻滞不全,对深部腰背痛及神经痛缓解差。

2. 椎间孔局部浸润麻醉

利用超声及CT引导下可清晰辨认椎间孔及神经根,准确指导穿刺并观察药物扩散情况。可视化技术对多次进行脊柱手术、存在脊柱严重疾患等腰椎解剖变异的病人至关重要。俞海明等^[7]在CT引导下使用0.5%利多卡因10~15 ml对关节突外侧及椎间孔行浸润麻醉,其可显著降低椎间孔扩大成形、后纵韧带成形的峰值疼痛视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)评分且未增加手术时间及透视次数。该操作过程中未出现神经根损伤、硬膜

囊破裂等并发症。该研究提示局部麻醉药物注入椎间孔周围作用于感觉神经末梢可以有效缓解重要操作时的疼痛,但局部麻醉药物的适宜浓度及容量需要进一步探索以保证病人镇痛需求的基础上能配合术者安全完成手术。荣雪芹等^[8]采用CT造影方式观察不同容量1%利多卡因用于椎间孔阻滞时的扩散范围,5 ml容量可分布至相邻上下两个节段同侧椎间孔、神经根管、侧隐窝及黄韧带下广泛硬膜外腔背侧,而10 ml可分布至上下三个阶段,满足双节段椎间孔镜手术的镇痛范围。CT及X线引导下穿刺需反复操作,复杂耗时,增加麻醉及建立通道的时间。便携有效的超声已成为实现“神经阻滞技术可视化”的主力军。超声引导下穿刺可实时定位针尖位置、显示穿刺路径、了解药物扩散,不仅增加穿刺准确性,还可降低血管及神经损伤风险。一项随机对照研究提示^[9],超声引导下经颈椎椎间孔注射可实现在CT引导下相似的定位准确性,且穿刺时间更短,血管内注射更少。邱鹏程等^[10]比较超声及传统C形臂X光引导下穿刺脊柱内镜腰椎间盘切除术(percutaneous endoscopic lumbar discectomy, PELD)的术后效果,结果表明在病人满意度、手术操作时间、一次性穿刺成功率及不良反应发生率方面,超声组均占优势。

3. 椎间盘局部麻醉

椎间盘内注射作为一种的安全、可行的技术治疗椎间盘源性疼痛,目前注射药物有低浓度局部麻醉药、亚甲蓝以及富血小板血浆生物制剂。作用机制可能是通过减少纤维环破裂及髓核突出引起炎症反应,促进退变椎间盘细胞外基质的恢复。有研究表明将局部麻醉药注射至椎间盘可阻断盘周神经末梢,阻断痛觉通路传导,为经椎间孔镜操作提供良好,镇痛效果,显著降低术中腰痛并减少芬太尼消耗量^[11]。

二、硬膜外麻醉

硬膜外麻醉(epidural anaesthesia, EA)即将局部麻醉药注入硬膜外腔并扩散至相应节段的背根神经节、脊神经及相关分支的神经传导通路,使其支配区域产生麻痹。作为传统的区域阻滞方式,EA围手术期镇痛效果明显,可较大程度降低手术应激及全身炎症反应,减少阿片类药物消耗量及术后恶心呕吐发生率。虽然该方式已证实可安全有效地应用于大型腰椎手术围手术期镇痛及脊柱内镜手术麻醉^[12,13],但行硬膜外麻醉后病人术后尿潴留及下肢无力事件发生增加,延长下床活动及住院时间。应用于微创手术时需充分权衡其风险/效益比。Zhu等^[14]将行椎间盘切除术(percutaneous transforaminal endoscopic discectomy, PTED)病人分为三组:LA组(1%利多



卡局部麻醉浸润至上关节突)；PA组(LA基础上术前30 min肌肉注射吗啡10 mg进行超前镇痛)；EA组(0.25%罗哌卡因注入手术穿刺点上两节段的硬膜外腔)，并比较三种不同方案的麻醉效果。结果提示与前两组相比，EA组术中降低腰痛及腿痛VAS评分，显现出良好的围手术期镇痛效果及病人满意度，但术后卧床时间显著延长。需要注意的是，EA操作复杂且创伤性较大，存在椎管内麻醉相关严重并发症风险，如平面广泛、低血压、呼吸抑制、硬膜外血肿等。

硬膜外麻醉下局部麻醉药浓度：神经损伤是在脊柱内镜手术中最严重的并发症，不同研究报道硬膜外麻醉下行PELD病人神经根损伤的发生率在1.2%~8.6%^[15]。采用低浓度局部麻醉药保留病人术中神经根触觉及运动觉可对神经伤害性刺激进行及时反馈，保证手术安全性。有研究认为运动反馈滞后于神经损伤，感觉-运动分离时局部麻醉药浓度不足以保证手术安全性，痛觉-触觉分离可能是更好的选择。Hu等^[16]采用偏性掷币设计方法探索行PELD病人罗哌卡因硬膜外麻醉的有效浓度(effect concentration, EC90)，即90%病人术中可以耐受的轻度疼痛(VAS评分≤3)的同时获得最大触觉效能的局部麻醉药浓度，结果提示硬膜外0.3%罗哌卡因复合小剂量阿片类药物静脉使用基本可以满足病人镇痛需求并保持足够触觉。

硬膜外麻醉穿刺入路：不同硬膜外穿刺路径的麻醉效果、操作难度存在差异。较常用的有脊柱后入路、经椎间孔入路及经骶管入路三种。

1. 脊柱后入路

传统硬膜外穿刺点位于脊柱中线或正中旁线，局部麻醉药经后硬膜外腔扩散至神经根从而阻滞相应节段，腔内脂肪结缔组织可导致局部麻醉药分布不均，神经根浸润及阻滞平面不确切。同时部分病人由于剧烈疼痛难以实现侧卧位腰椎过屈的穿刺体位，脊柱退行性疾病伴随的骨质钙化及解剖变异等因素使穿刺及置管难度增加。

2. 经椎间孔入路

经椎间孔入路即经椎间孔硬膜外镇痛，在CT引导下允许药物直接注射至前硬膜外腔并靠近神经根，其疗效最为可靠。Zhang等^[17]回顾分析X线引导下经椎间孔硬膜外麻醉的镇痛效果，较传统局部麻醉浸润方法相比经椎间孔入路硬膜外麻醉(lumbar transforaminal epidural anesthesia, LTEA)显著降低术中及术后1周腰痛、腿痛VAS评分，同时未延长平均手术时间和X射线照射时间，术后1周

及术后1个月平均ODI评分差异无统计学意义。椎间孔镜下硬膜外穿刺镇痛效果确切，同时简化了传统EA流程且未影响手术时间及病人短期预后。面对术中无法耐受局部麻醉下操作的病人时，该方案可以作为一种替代全身麻醉的有效麻醉镇痛方案，减少因临时更改麻醉方式为病人带来的全身麻醉风险及不良反应，降低医疗资源消耗及病人花销。

3. 经骶管入路

经尾侧入路通过骶管裂孔将局部麻醉药注入骶管腔内，通过弥散作用实现腰骶部脊神经阻滞，既往用于下腹部及腰骶部手术的麻醉，对于腰椎间盘突出症引起的腰痛和下肢根性痛也有一定治疗作用^[18]。宋通渠等^[19]于术前10分钟行骶管麻醉以探讨骶管麻醉在经腰椎内镜手术病人中的镇痛效果。结果提示骶管麻醉可以减少术中各个环节(椎间孔成形时、纤维环及后纵韧带操作期、神经根松解髓核取出)疼痛峰值VAS评分。病人因疼痛产生的应激反应减弱，血流动力学平稳，手术时间缩短，手术体验良好，再手术意愿高。但传统成人骶骨麻醉穿刺失败率高且该阻滞位置血运丰富，存在局部麻醉药中毒风险。

三、竖脊肌平面阻滞

竖脊肌平面即椎体横突与竖脊肌的间隙，行竖脊肌阻滞(erector spinae plane block, ESPB)时较大容量的局部麻醉药通过弥散机制作用于内侧椎旁间隙及外侧的肋间神经，实现脊神经根背腹侧支的阻滞。超声引导下ESPB操作简单且安全，以横突为标识，穿刺路径远离胸膜、脊神经根及硬膜囊，减少气胸及硬膜外注射等相关不良反应。一项纳入12项随机对照研究的Meta分析提示，与空白对照组相比，ESPB可显著减少术后24小时静脉阿片类药物消耗量及术后恶心呕吐发生率，同时接受ESPB病人术后48小时内(休息或运动时)具有更低的疼痛评分，住院时间更短并拥有更高病人满意度评分^[20]。ESPB不仅成功参与各类脊柱手术的多模式镇痛镇痛，也用于椎间孔镜手术麻醉。有研究表明，双侧ESPB(0.375%罗哌卡因20 ml/侧)联合术中持续泵注右美托咪定可充分提供术中镇静镇痛效果，降低围手术期应激反应并促进术后快速康复^[21]。另有研究使用0.5%罗哌卡因15 ml/侧进行双侧ESPB也可有效提高术中镇痛效果^[22]。

局部麻醉药的容量及浓度决定了其阻滞范围及麻醉效能。Tseng等^[23]认为ESPB空间作为手术区域的一部分，手术冲洗可能稀释局部麻醉药并降低其药效，同时肋横突孔的解剖差异可能导致脊神经前支及脊髓脊背根神经节(dorsal root ganglia, DRG)



阻滞不全。另有研究者认为药物较大容积时可纵向扩散至神经孔及硬膜外腔,产生多节段椎旁阻滞的效果^[24]。行脊柱手术病人可能存在关节韧带变异,局部麻醉药扩散能力未知。ESPB 应用于脊柱内镜手术的安全性及有效性仍需进一步探索。

四、胸腰筋膜平面阻滞

相比于 EA、ESPB 等广泛区域的神经阻滞方式,胸腰筋膜平面阻滞 (thoracolumbar interfascial plane block, TLIPB) 仅作用于腰神经后支,对脊柱后正中附近皮肤、筋膜及肌肉进行集中镇痛,同时其保留腹侧支可使病人保持活动状态,有利于术中及术后即刻神经检查^[25]。同时穿刺及药物扩散仅在肌肉筋膜内进行,减少深部注射引起血肿等并发症,避免局部麻醉药于脊神经前支及交感链扩散,引起神经根触觉降低、术中神经损伤及术中低血压事件的发生,可作为微创腰椎手术围手术期镇痛的有效策略。

根据进针方向及药物注射部位不同,存在内侧入路和改良外侧入路两种阻滞方式。椎间孔镜的工作通道为后外侧安全三角入路,通常位于髂肋肌与最长肌之间,即改良 TLIPB 作用靶点,同时髂肋肌在超声下更易辨认,其阻滞效果更确切^[26]。有研究提示术前进行改良 TLIPB 与 ESPB 椎间盘切除术病人拥有相同的术后镇痛效果^[27]。

五、小结

综上所述,未来脊柱内镜手术的围手术期镇痛趋向于创伤及不良反应更小且不影响病人术后功能康复的区域阻滞。目前区域阻滞麻醉在脊柱内镜手术的应用多为回顾性及小样本研究,未来需要高质量证据支持其安全性及有效性。不同阻滞方法局部麻醉药的最小有效浓度还需进一步确定以满足术中神经根感知保留的需求。未来研究应关注于探索合适局部麻醉药物浓度及容量、不同区域阻滞之间的镇痛效果及优劣势、多种区域阻滞联合麻醉或多模式镇痛的应用等。经皮椎间孔镜技术已成为治疗各种脊柱退行性疾病的有效措施,其适应证还在持续扩大,包括腰椎骨折固定、腰椎术后翻修局限的脊柱肿瘤等。顺应微创手术时代,当今迫切需要合适的麻醉方式以实现针对不同手术位置、手术入路及不同人群的个体化疼痛管理。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

参 考 文 献

- [1] Gadjaradj PS, Rubinstein SM, Peul WC, *et al.* Full endoscopic versus open discectomy for sciatica: randomised controlled non-inferiority trial[J]. *BMJ*, 2022, 376:e065846.
- [2] 刘亚明,赵森明.经皮脊柱内镜技术治疗腰椎间盘突出症的临床研究进展[J].中国疼痛医学杂志, 2018, 24(10):768-773.
- [3] Lin W, Ma WT, Xue Y. Low back pain induced by posterior longitudinal ligament incision in percutaneous transforaminal endoscopic lumbar discectomy[J]. *Orthop Surg*, 2020, 12(4):1230-1237.
- [4] Nakamae T, Fujimoto Y, Yamada K, *et al.* Transforaminal percutaneous endoscopic discectomy for lumbar disc herniation in athletes under the local anesthesia[J]. *J Orthop Sci*, 2019, 24(6):1015-1019.
- [5] Alexander N, Gardocki R. Awake transforaminal endoscopic lumbar discectomy in an ambulatory surgery center: early clinical outcomes and complications of 100 patients[J]. *Eur Spine J*, 2023, 32(8):2910-2917.
- [6] Yamaya S, Tezuka F, Sugiura K, *et al.* Risk factor for additional intravenous medication during transforaminal full-endoscopic lumbar discectomy under local anesthesia[J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2021, 61(3):236-242.
- [7] 俞海明,姚学东,叶晖,等.椎间孔浸润麻醉在椎间孔镜术中的镇痛效果[J].中国矫形外科杂志, 2017, 25(23):2123-2127.
- [8] 荣雪芹,郑庆玲,赵利涛,等. CT 造影动态评估椎间孔镜手术椎间孔阻滞中利多卡因扩散范围[J].颈腰痛杂志, 2021, 42(2):185-188.
- [9] 曾宪政,宋莉,肖红,等.超声引导下颈椎椎间孔注射治疗神经根型颈椎病的临床研究[J].中国疼痛医学杂志, 2021, 27(3):182-187.
- [10] 邱鹏程,潘略韬,邱鹏远,等.超声引导下脊柱内镜治疗腰椎间盘突出症的临床研究[J].中国疼痛医学杂志, 2017, 23(11):861-864.
- [11] Duan L, Zhang JY, Zhang JH, *et al.* Effect of intradiscal local anesthetic injection on intraoperative pain during percutaneous transforaminal endoscopic discectomy: a retrospective study[J]. *Asian J Surg*, 2023, 46(7):2682-2688.
- [12] Prabhakar NK, Chadwick AL, Nwaneshiudu C, *et al.* Management of postoperative pain in patients following spine surgery: a narrative review[J]. *Int J Gen Med*, 2022, 15:4535-4549.
- [13] 黄莹,林建,陶高见,等.硬膜外麻醉下椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症的疗效分析[J].中国疼痛医学杂志, 2017, 23(3):238-240.
- [14] Zhu Y, Zhao Y, Fan G, *et al.* Comparison of 3 anesthetic methods for percutaneous transforaminal endoscopic discectomy: a prospective study[J]. *Pain Physician*, 2018, 21(4):E347-E353.
- [15] Pan M, Li Q, Li S, *et al.* Percutaneous endoscopic lumbar discectomy: indications and complications[J]. *Pain Physician*, 2020, 23(1):49-56.
- [16] Hu B, Li L, Wang H, *et al.* Determining the minimum effective concentration of ropivacaine in epidural anesthesia for tolerable pain in transforaminal percutaneous



- endoscopic lumbar discectomy to avoid nerve injury: a double-blind study using a biased-coin design[J]. *Drug Des Devel Ther*, 2022, 16:315-323.
- [17] Zhang J, Wang X, Cai Z, *et al*. Analgesic effect of epidural anesthesia via the intervertebral foramen approach in percutaneous transforaminal endoscopic discectomy: a retrospective study[J]. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1):397.
- [18] Park Y, Lee JH, Park KD, *et al*. Ultrasound-guided vs fluoroscopy-guided caudal epidural steroid injection for the treatment of unilateral lower lumbar radicular pain: a prospective, randomized, single-blind clinical study[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2013, 92(7):575-586.
- [19] 宋通渠, 王宪峰, 李晶晶, 等. 局部麻醉联合骶管麻醉在腰椎内窥镜手术中的镇痛效果[J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 27(17):1570-1574.
- [20] Oh SK, Lim BG, Won YJ, *et al*. Analgesic efficacy of erector spinae plane block in lumbar spine surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Anesth*, 2022, 78:110647.
- [21] 刘鹏飞, 王劲恒, 胡艳婷, 等. 右美托咪定联合罗哌卡因双侧竖脊肌平面阻滞对老年腰椎间孔镜手术病人镇痛效果及术后恢复的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2021, 41(10):2079-2083.
- [22] 程晓燕, 李瑞华, 李洪波, 等. 超声引导下竖脊肌平面阻滞在椎间孔镜技术应用[J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29(1):79-81.
- [23] Tseng V, Xu JL. Erector spinae plane block for postoperative analgesia in lumbar spine surgery: is there a better option?[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2021, 33(1):92.
- [24] Sørenstua M, Zantalis N, Raeder J, *et al*. Spread of local anesthetics after erector spinae plane block: an MRI study in healthy volunteers[J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2023, 48(2):74-79.
- [25] Hu Z, Han J, Jiao B, *et al*. Efficacy of thoracolumbar interfascial plane block for postoperative analgesia in lumbar spine surgery: a meta-analysis of randomized clinical trials[J]. *Pain Physician*, 2021, 24(7):E1085-E1097.
- [26] Ahiskalioglu A, Yayik AM, Alici HA. Ultrasound-guided lateral thoracolumbar interfascial plane (TLIP) block: description of new modified technique[J]. *J Clin Anesth*, 2017, 40:62.
- [27] Ciftci B, Ekinci M, Celik EC, *et al*. Ultrasound-guided erector spinae plane block versus modified-thoracolumbar interfascial plane block for lumbar discectomy surgery: a randomized, controlled study[J]. *World Neurosurg*, 2020, 144:e849-e855.
- (上接第 209 页)
- [21] Li L, Jiang BE. Serum and synovial fluid chemokine ligand 2/monocyte chemoattractant protein 1 concentrations correlates with symptomatic severity in patients with knee osteoarthritis[J]. *Ann Clin Biochem*, 2015, 52(Pt 2):276-282.
- [22] Dansereau MA, Midavaine É, Bégin-Lavallée V, *et al*. Mechanistic insights into the role of the chemokine CCL2/CCR2 axis in dorsal root ganglia to peripheral inflammation and pain hypersensitivity[J]. *J Neuroinflammation*, 2021, 18(1):79.
- [23] Sekiguchi F, Kawabata A. Role of HMGB1 in chemotherapy-induced peripheral neuropathy[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 22(1):367.
- [24] Van Der Vlist M, Raoof R, Willemen H, *et al*. Macrophages transfer mitochondria to sensory neurons to resolve inflammatory pain[J]. *Neuron*, 2022, 110(4):613-26.e9.
- [25] Duggett NA, Griffiths LA, Flatters SJL. Paclitaxel-induced painful neuropathy is associated with changes in mitochondrial bioenergetics, glycolysis, and an energy deficit in dorsal root ganglia neurons[J]. *Pain*, 2017, 158(8):1499-1508.
- [26] Willemen H, Kavelaars A, Prado J, *et al*. Identification of FAM173B as a protein methyltransferase promoting chronic pain[J]. *PLoS biology*, 2018, 16(2):e2003452.
- [27] Hayakawa K, Esposito E, Wang X, *et al*. Transfer of mitochondria from astrocytes to neurons after stroke[J]. *Nature*, 2016, 535(7613):551-555.
- [28] Wright GJ, Jones M, Puklavec MJ, *et al*. The unusual distribution of the neuronal/lymphoid cell surface CD200 (OX2) glycoprotein is conserved in humans[J]. *Immunology*, 2001, 102(2):173-179.
- [29] Kojima T, Tsuchiya K, Ikemizu S, *et al*. Novel CD200 homologues iSEC1 and iSEC2 are gastrointestinal secretory cell-specific ligands of inhibitory receptor CD200R[J]. *Sci Rep*, 2016, 6:36457.
- [30] Qiao LY, Tiwari N. Spinal neuron-glia-immune interaction in cross-organ sensitization[J]. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*, 2020, 319(6):G748-G760.
- [31] Wang Q, Bergholz JS, Ding L, *et al*. STING agonism reprograms tumor-associated macrophages and overcomes resistance to PARP inhibition in BRCA1-deficient models of breast cancer[J]. *Nat Commun*, 2022, 13(1):3022.
- [32] Wang K, Donnelly CR, Jiang C, *et al*. STING suppresses bone cancer pain via immune and neuronal modulation[J]. *Nat Commun*, 2021, 12(1):4558.
- [33] Bae S, Kim K, Kang K, *et al*. RANKL-responsive epigenetic mechanism reprograms macrophages into bone-resorbing osteoclasts[J]. *Cell Mol Immunol*, 2023, 20(1):94-109.