

## 背根神经节脉冲射频在慢性疼痛中的应用及研究进展

廖萌萌 张树丽 张彩琳 李亦梅<sup>△</sup>  
(新疆医科大学第一附属医院疼痛科, 乌鲁木齐 830054)

**摘要** 脉冲射频 (pulsed radiofrequency, PRF) 因其对组织伤害性小, 并发症少以及经济花费少而逐渐成为治疗疼痛常用的介入治疗手段。背根神经节 (dorsal root ganglion, DRG) 作为疼痛信号传导的初级中枢, 因此成为临床上慢性疼痛介入治疗的重要靶点。近年来, 背根神经节脉冲射频在疼痛中的应用成为国内外研究的热点, 本文将从镇痛机制、应用领域、并发症、治疗优劣性等方面进行综述, 为进一步探索其在疼痛诊疗中的新策略提供参考。

**关键词** 背根神经节; 脉冲射频; 疼痛

慢性疼痛影响着很大一部分人的生活, 造成病人生活质量的下降和经济的损失。据统计, 慢性疼痛影响着全球超过 30% 的成年人口<sup>[1]</sup>, 并且仍有 11.9% 接受治疗的病人疼痛控制不佳<sup>[2]</sup>。疼痛控制不佳使病人陷入疼痛-负性情绪-疼痛的恶性循环, 从而进一步增加慢性疼痛的难治性。虽然针对慢性疼痛的病因、发病机制、诊断和治疗有了新的进展, 但是长期有效的治疗却不易实现。由于传统药物治疗及神经阻滞治疗的局限性, 新的治疗策略需要不断被探索。背根神经节 (dorsal root ganglion, DRG) 自 1949 年<sup>[3]</sup> 作为治疗靶点出现在疼痛诊疗以来, 被认为是神经调节治疗的可行选择。脉冲射频 (pulsed radiofrequency, PRF) 因无神经损伤却能实现有效镇痛成为传统射频热凝的替代治疗。近年来, 国内外针对背根神经节-脉冲射频 (DRG-PRF) 治疗进行了大量的研究, 现广泛应用于各种慢性疼痛<sup>[4-6]</sup>, 并显示出良好的镇痛效果。本文对 DRG-PRF 的临床应用及研究新进展进行综述, 便于更多临床医师认识该疗法的适用范围及治疗有效性, 以促进 DRG-PRF 技术在慢性疼痛治疗中的探索和应用。

### 一、PRF 的起源与发展

1997 年, 荷兰医师 Sluiter 等<sup>[7]</sup> 首次提出了 PRF 技术。PRF 治疗<sup>[8]</sup> 是一种不连续的脉冲电流形成的高压和低温射频模式, 通过针尖发射间歇性脉冲电流, 通过神经组织附近快速的电压波动引起的电磁场效应发挥镇痛作用。传统的 PRF 参数为电极尖端温度 42℃, 脉冲频率 2 Hz, 脉冲宽度 20 ms,

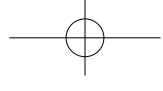
输出电压 45 V, 治疗持续时间 120 s。近年来, 经过临床医师和研究人员的深入研究, 逐渐建立了新的脉冲射频模型-单级及双极脉冲射频以及新的射频模式-高电压长时程 PRF。双极脉冲射频是指在原有单极射频导管的基础上增加一个单极导管, 从而产生更大更密集的电场。而高电压长时程 PRF 即在传统 PRF 中增加输出电压和脉冲时间。

### 二、背根神经节的解剖特点

脊髓分为前根和后根, 前根 (又称腹根) 为运动神经根, 后根 (又称为背根) 为感觉神经根, 背根出椎间孔处膨大的结节称为 DRG。Haberberger 等<sup>[9]</sup> 回顾性分析人类 DRG 相关研究发现, 在颈部区域, DRG 的大小从 C<sub>1</sub> 水平至 C<sub>8</sub> 水平逐渐增大。并且 C<sub>1</sub> 非常小且仅有 28.5% 的被研究者存在。C<sub>8</sub> DRG 的体积 (144.0±30.8 mm<sup>3</sup>) 比相邻的 T<sub>1</sub> DRG (177.0±27.5 mm<sup>3</sup>) 更大。Leng 等<sup>[10]</sup> 的研究发现胸椎和腰椎背根神经节的长度从 T<sub>1</sub> (平均 6.01 mm) 逐渐增加到 L<sub>5</sub> (平均 13.31 mm)。胸椎和腰椎 DRG 的宽度也从 T<sub>1</sub> (平均 4.60 mm) 增加到 L<sub>5</sub> (平均 6.28 mm)。通常认为, 胸椎 DRG 较小, 颈椎和腰椎的 DRG 较大。

Haberberger 等<sup>[9]</sup> 回顾既往研究发现 DRG 的位置在不同性别、年龄、身高和体重没有观察到差异。DRG 的解剖位置分为椎管内、椎间孔内或椎间孔外。随着椎体自上往下, DRG 的分布逐渐有从椎间孔外向椎管内移动的趋势。C<sub>6</sub> 和 C<sub>7</sub> DRG 有一半位于椎间孔外。胸椎和腰椎 DRG 主要是位于椎间孔内的, 值得注意的是 L<sub>5</sub> DRG 位置的变异性较大<sup>[10]</sup>。骶骨

<sup>△</sup> 通信作者 李亦梅 hanyuner1969@163.com



DRG 位于更中央,  $S_1$  和  $S_2$  水平的 DRG 位于椎间孔内,  $S_3$  和  $S_4$  水平 DRG 位于椎管内。

### 三、背根神经节脉冲射频镇痛机制

一项对大鼠的电生理学研究表明<sup>[11]</sup>, 75% 的整体异常放电发生在 DRG, 只有 25% 发生在损伤的神经纤维, 特别是在神经性疼痛的早期阶段。因此, DRG-PRF 治疗效果应优于针对神经纤维的 PRF。PRF 治疗可选择性作用于 DRG 内小直径 C 纤维和  $A\delta$  纤维神经元引起内质网蓄积, 胞浆空泡增多, 从而阻断疼痛信号传导; 而并不损伤神经元、轴突组织及施万细胞, 不会导致神经组织继发病理性损伤<sup>[12]</sup>。

de Graaf 等<sup>[13]</sup> 的研究显示 84 名健康者的  $CD^{3+}$  淋巴细胞 (85%) 多为中央记忆细胞 (TCM), 都是不活跃的监视细胞。Moore 等<sup>[14]</sup> 的研究显示慢性神经根性疼痛病人的脑脊液中  $CD4/CD8$  淋巴细胞比值较低且大多数  $CD^{3+}$  淋巴细胞是激活的效应记忆细胞 (TEM) (80.0%)。PRF 治疗可降低  $CD3$  计数。该研究提示 PRF 的作用机制涉及 T 细胞的调节。

多项研究显示 PRF 治疗 DRG 是通过调节小胶质细胞来改善疼痛<sup>[15-17]</sup>。Masuda 等<sup>[15]</sup> 的研究发现 IRF8 是神经损伤后脊髓背角反应性小胶质细胞的重要调节因子。IRF8 与脊髓中小胶质细胞激活呈正相关。Liu 等<sup>[16]</sup> 的研究发现 IRF8 的表达在脊髓背角小胶质细胞显著上调神经性疼痛, DRG 治疗显著下调 IRF8 并降低机械性痛觉过敏。Xu 等<sup>[17]</sup> 的研究显示通过使用 PRF 治疗 DRG, 可抑制脊髓中的小胶质细胞脑源性神经营养因子 (brain-derived neurotrophic factor, BDNF)、磷脂酰肌醇 3-激酶 (phosphatidylinositol 3-kinase, PI3K) 和磷酸化的细胞外信号调节激酶 (phosphorylated extracellular signal-regulated kinase, p-ERK), 从而缓解保留性神经损伤 (spared nerve injury, SNI) 大鼠模型的神经性疼痛。Vallejo 等<sup>[18]</sup> 的研究显示 PRF 增加了脊髓背角 c-Fos 免疫反应细胞的表达, 从而可能参与了长期的神经可塑性, 降低了中枢敏化。Lin 等<sup>[19]</sup> 的研究显示 DRG-PRF 通过增强 DRG 中抗炎因子  $\gamma$ -氨基丁酸 BR1 受体 (gamma aminobutyric acid BR1 receptor, GABA-BR1) 和 5-羟色胺 3 型受体 (5-hydroxytryptamine type 3 receptor, 5-HT<sub>3r</sub>) 表达, 降低促炎因子肿瘤坏死因子- $\alpha$  (tumor necrosis factor- $\alpha$ , TNF- $\alpha$ ) 和白介素-6 (interleukin 6, IL-6) 表达, 从而抑制神经源性炎症反应。

### 四、背根神经节脉冲射频在疼痛中的应用

#### 1. 带状疱疹神经痛

带状疱疹 (herpes zoster, HZ) 是由水痘-带状疱疹

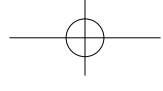
病毒的重新激活引起的, 该病毒在最初感染后潜伏并持续存在于感觉 DRG 和颅神经神经节。因年龄增长、过度劳累、恶性肿瘤、免疫缺陷疾病等原因所致人体的免疫力降低时, 潜伏病毒就会迅速在 DRG 中复制并破坏轴突, 导致脱髓鞘和离子通道功能障碍。Ding 等<sup>[4]</sup> 的研究显示胸段 DRG-PRF 调节不同时期带状疱疹神经痛是安全有效的, 可以明显缓解不同时期 HZ 的疼痛, 从而提高生活质量, 减少抗惊厥药物的剂量。由于 PRF 调节在 HZ 后的急性期 ( $< 1$  个月) 比在亚急性期 (1~3 个月) 和慢性期 ( $> 3$  个月) 有更好的治疗效果, 因此建议在 HZ 的急性期进行早期干预治疗。Wan 等<sup>[20]</sup> 的研究纳入 90 例诊断为带状疱疹后神经痛且治疗时间  $\geq 3$  个月的病人, 采用双极高电压长时程的 PRF, 基本参数设置为  $42^\circ\text{C}$ 、2 Hz、20 ms、持续 900 s、初始电压为 40 V, 然后逐渐升高, 直到病人最大耐受电压 (70~100 V)。在治疗后 12 周时, 发现 VAS 评分显著降低, 生活质量调查表 (SF-36) 评分也明显改善。

#### 2. 颈源性头痛

颈源性头痛是临床常见的疾病, 颈源性头痛一般从颈部疼痛, 放射至后枕区, 但临床部分病人疼痛症状会放射至前额部。Lee 等<sup>[5]</sup> 的研究显示针对颈 2 DRG-PRF, 并通过射频针注入 2 ml 罗哌卡因和地塞米松的混合液后可以有效缓解颈源性头痛, 直至术后 6 个月时, 仍有 40% 的病人有 50% 以上的缓解。李泽敏等<sup>[21]</sup> 的研究显示术后 6 个月的疼痛评分较 3 个月有所升高, 但仍明显低于术前。同时发现对首次治疗维持效果欠佳者, 重复治疗的效果优于单次治疗。李少军等<sup>[22]</sup> 的研究显示经过颈 2 DRG-PRF 及神经阻滞术后, 58.8% 的病人明显缓解, 无需服用镇痛药物, 恢复正常生活, 同时经过分析得出病史长、伴有焦虑抑郁为 DRG-PRF 以及神经阻滞后的疼痛再次发生的高危因素, 建议高危病人联合抗焦虑抑郁药物一起治疗。

#### 3. 颈神经根性疼痛

颈神经根性疼痛被定义为由脊神经或其根中的伤害性传入纤维异位激活引起的上肢疼痛。王浙克等<sup>[23]</sup> 的研究显示 DRG-PRF 联合选择性神经根阻滞术治疗颈神经根性疼痛, 在 6 个月时, 疼痛缓解有效率为 90.9%。O'Gara 等<sup>[24]</sup> 的研究显示 DRG-PRF 并注入利多卡因和地塞米松的混合液注射治疗后, 67% 的慢性颈神经根性疼痛病人经历了临床上显著和有意义的 50% 或以上的疼痛减轻, 同时在后期的随访中, 疼痛缓解超过 9 个月。Yang 等<sup>[25]</sup> 发现单



极 DRG-PRF 以及经椎间孔硬膜外糖皮质激素治疗效果不佳的慢性颈神经根疼痛病人进行双极 DRG-PRF 治疗后,病人疼痛缓解一直持续至术后 3 个月。

#### 4. 腰骶部及下肢疼痛

腰骶部及下肢疼痛多由腰椎管狭窄,腰椎关节突关节综合征、腰椎间盘突出等原因导致。王敏等<sup>[26]</sup>的研究表明,多节段的 DRG-PRF 可以缓解腰椎管狭窄所致腰骶部疼痛,并显示在随访至 6 个月时,仍有明显疗效,但 1 年时,疼痛评分较术前无明显差距。Moussa 等<sup>[6]</sup>的研究显示针对腰椎关节突关节综合征所致腰痛病人进行 DRG-PRF 及布比卡因以及醋酸甲基泼尼松龙注射治疗后可以改善病人的疼痛并延长疼痛缓解维持时间,甚至在术后 2~3 年疼痛仍有缓解。Chang 等<sup>[27]</sup>的研究将纳入的慢性腰骶神经痛病人 50 例分为两组,一组进行单极 DRG-PRF 治疗,另一组进行双极 DRG-PRF 治疗,随访至治疗后 3 个月,双极相较于单极 DRG-PRF 病人疼痛缓解超过 50% 的概率高 (76% vs. 48%)。Lee 等<sup>[28]</sup>的研究显示针对单极 DRG-PRF 治疗失败的病人,双极 DRG-PRF 治疗后 3 个月,仍有 52.2% 的病人觉得疼痛缓解满意。

#### 5. 脊柱源性腹痛

脊柱源性腹痛主要是由脊柱或脊髓病变引起的腹部疼痛。王静等<sup>[29]</sup>的研究发现冲击波联合 DRG-PRF 能有效缓解脊柱源性腹痛,随访至 2 年时,疾病发展及疾病花费均显著少于其他组别。

#### 6. 全膝关节置换术后疼痛

大多数病人全膝关节置换术后膝关节疼痛及功能明显改善,但仍有一部分病人术后会经历长期的术后疼痛,术后疼痛多会引起病人不满情绪及影响功能的恢复。Albayrak 等<sup>[30]</sup>的研究显示术后疼痛病人约为全膝关节置换病人总数的 66%,经过 DRG-PRF、经皮电刺激治疗和运动治疗联合治疗组显示疼痛缓解超过 50% 的病人数在超过 8 个月时仍有增加,同时证明 DRG-PRF 治疗可降低神经病成分。

#### 7. 乳腺癌术后疼痛综合征

乳腺癌病人 20%~68% 会经历乳腺癌术后疼痛综合征,是指术后胸部、腋窝、和/或上半臂持续 > 3 个月的疼痛。Hetta 等<sup>[31]</sup>的研究显示经过 DRG-PRF 治疗后,病人疼痛缓解 > 50% 者在术后 4 个月及 6 个月时,分别是 79.3% 和 75.9%,明显高于肋间神经 PRF 组。

#### 8. 椎体转移瘤根性痛

椎体转移瘤根性痛多是肿瘤压迫神经根或者脊髓所引起,徐清榜等<sup>[32]</sup>的研究显示 DRG-PRF 治疗

后疼痛可缓解 3 个月,可减少镇痛药物的服用,提高病人生活质量。虽术后 3 个月疼痛评分较术后 2 个月有所升高,但仍低于术前。Arai 等<sup>[33]</sup>的一项 15 名病人的研究中,显示经过 DRG-PRF 治疗后,在术后 3 周时,有 13 人疼痛有所缓解,并且有 5 人完全缓解。

#### 五、并发症

一些 DRG-PRF 的临床研究显示无明显并发症<sup>[5,30]</sup>。一些研究显示 PRF 有短暂性的不良反应出现,经过保守治疗后均缓解。Hong 等<sup>[34]</sup>的研究显示 PRF 后 2 例病人分别出现短暂性的右上肢、左下肢无力,并在 6 小时内恢复。一项胸背部带状疱疹 PRF 研究出现 2 例气胸并发症,经保守治疗后缓解<sup>[4]</sup>。一项颈源性头痛病人 PRF 后出现 1 例短暂性颈痛(持续 24 小时)和 3 例短暂性头晕(持续 30 分钟)<sup>[35]</sup>。PRF 治疗后可能会出现疼痛暂时性加重。主要考虑 PRF 治疗可能会引起神经内膜水肿和髓磷脂改变,并且与其设置的温度、电压以及持续时间有关,这些效应可以解释 PRF 治疗后短暂出现的疼痛加重<sup>[36]</sup>。

#### 六、背根神经节脉冲射频的优劣势比较

近年来,新技术涌入疼痛诊疗的大门。DRG-PRF、脊髓电刺激、背根神经节电刺激等治疗在急慢性疼痛的应用逐渐成为国内外学者关注的重点。DRG-PRF 相较于脊髓电刺激及背根神经节电刺激而言,具有微创、安全、可重复治疗、技术要求较低、治疗费用低的优点,但同时存在疼痛缓解时间较短,针对顽固性疼痛疗效较差的缺点。脊髓电刺激和背根神经节电刺激均能有效缓解顽固性疼痛,脊髓电刺激由于其需用异常感觉覆盖疼痛区域为前提<sup>[37]</sup>,电极植入位置容易受体位影响而变动<sup>[38]</sup>,治疗成本高而被建议用于顽固性疼痛的治疗以及作为 PRF 治疗的一种替代方案。背根神经节电刺激和脊髓电刺激一样,虽有可调控、镇痛时间长的优点,但是两者均有植入部位感染,椎管内血肿形成,脊髓神经根损伤的可能性<sup>[39]</sup>。除此之外,背根神经节电刺激相比脊髓电刺激有以下优点:可覆盖疼痛的范围更广,包括足部、腹股沟区的镇痛,同时背根神经节电刺激所需能量少于脊髓电刺激<sup>[38]</sup>。因此背根神经节电刺激也可作为脊髓电刺激治疗效果不佳的升级方案。三种治疗方式优劣势比较见表 1 所示。

#### 七、总结与展望

胸椎 DRG 较小再加上胸椎临近胸膜和肺,这无疑增加了寻找胸椎 DRG 的难度和气胸等并发症的风险,因此治疗时应保证技术的熟练性。了解 DRG 的解剖位置分布特点有助于根据椎体水平来辅

表 1 不同治疗方式的优劣势比较

	优点	缺点
背根神经节脉冲射频	微创、安全、可重复治疗、技术要求和费用低。	针对疼痛缓解时间短，对顽固性疼痛效果差。
脊髓电刺激	针对顽固性疼痛具有可调控、镇痛时间长的优点。	需用异常感觉覆盖疼痛区域为前提；电极植入位置易受体位影响而变动；存在植入部位感染，椎管内血肿形成，脊髓神经根损伤的可能。
背根神经节电刺激	针对顽固性疼痛具有可调控、镇痛时间长的优点；疼痛覆盖范围广，包括足部和腹股沟区的疼痛等；所需能量少于脊髓电刺激；位置不易受体位变动影响。	植入技术要求高；存在植入部位感染，椎管内血肿形成，脊髓神经根损伤的可能。

助判断进针位置及深度，或者针对 DRG 定位不清的病人进一步采取 CT 或者磁共振神经造影 (magnetic resonance neurography, MRN) 成像辅助判断，从而实现有效治疗。多种慢性疾病经过传统 DRG-PRF 治疗疼痛缓解良好，几乎不出现并发症或者出现短暂性的并发症。部分研究经过对比分析发现 DRG 双极 DRG-PRF 治疗效果优于单极，针对单极治疗效果不佳的病人，仍可考虑双极 DRG-PRF 治疗。而针对 DRG 高电压长时程脉冲治疗相对慢性疾病的治疗效果研究较少，不能明确了解其疗效。DRG-PRF 相较于其他新型治疗方式（如脊髓电刺激及背根神经节电刺激）有其独特的优缺点。不同技术各有优劣，根据不同的疾病特点、疾病病程、治疗方法的机制以及治疗技术的限制，选择何种治疗方案，是临床工作者需要深入思考和探索的问题。

总的来说，针对慢性顽固性疾病，DRG-PRF 是一种良好的选择。尽管 DRG-PRF 治疗不同疾病时缓解疼痛的时间长短不一致，但多项研究显示有益效果。未来的研究仍需不断探索 DRG-PRF 传统模式以及新模式在不同疾病中的应用。现国内外研究较多为小样本，证据级别不高。期待国内外疼痛中心可以进行大规模、多中心的高质量随机对照临床试验研究，在 DRG-PRF 的适应证、镇痛机制、治疗有效性、安全性等方面提供更全面、更精准的治疗策略。

利益冲突声明：作者声明本文无利益冲突。

参 考 文 献

[1] Cohen SP, Vase L, Hooten WM. Chronic pain: an update on burden, best practices, and new advances[J]. Lancet, 2021, 397(10289):2082-2097.

[2] Liem L, Van Dongen E, Huygen FJ, et al. The dorsal root ganglion as a therapeutic target for chronic pain[J]. Reg Anesth Pain Med, 2016, 41(4):511-519.

[3] Soresi AL. Control of intractable pain by spinal ganglia block[J]. Am J Surg, 1949, 77(1):72-78.

[4] Ding Y, Li H, Hong T, et al. Efficacy and safety of

computed tomography-guided pulsed radiofrequency modulation of thoracic dorsal root ganglion on herpes zoster neuralgia[J]. Neuromodulation, 2019, 22(1):108-114.

[5] Lee HJ, Cho HH, Nahm FS, et al. Pulsed radiofrequency ablation of the C<sub>2</sub> dorsal root ganglion using a posterior approach for treating cervicogenic headache: a retrospective chart review[J]. Headache, 2020, 60(10):2463-2472.

[6] Moussa WM, Khedr W, Elsayy M. Percutaneous pulsed radiofrequency treatment of dorsal root ganglion for treatment of lumbar facet syndrome[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2020, 199:106253.

[7] Sluijter ME. Non-thermal radiofrequency procedures in the treatment spinal pain[C]. Pain in Europe; Barcelona: 2nd Annual Congress of the European federation of IASP Chapters, 1997, 326.

[8] Liu JF, Shen W, Huang D, et al. Expert consensus of Chinese Association for the Study of Pain on the radiofrequency therapy technology in the Department of Pain[J]. World J Clin Cases, 2021, 9(9):2123-2135.

[9] Haberberger RV, Barry C, Dominguez N, et al. Human Dorsal Root Ganglia[J]. Front Cell Neurosci, 2019, 13:271.

[10] Leng L, Liu L, Si D. Morphological anatomy of thoracolumbar nerve roots and dorsal root ganglia[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2018, 28(2):171-176.

[11] Liu CN, Wall PD, Ben-Dor E, et al. Tactile allodynia in the absence of C-fiber activation: altered firing properties of DRG neurons following spinal nerve injury[J]. Pain, 2000, 85:503-521.

[12] Ding Y, Li H, Zhu Y. Transforaminal epidural steroid injection combined with pulsed radio- frequency on spinal nerve root for the treatment of lumbar disc herniation[J]. J Pain Res, 2018, 11:1531-1539

[13] de Graaf MT, Smitt PA, Luitwieler RL, et al. Central memory CD<sup>4+</sup> T cells dominate the normal cerebrospinal fluid[J]. Cytometry B Clin Cytom, 2011, 80(1):43-50.

[14] Moore D, Galvin D, Conroy MJ, et al. Characterisation of the effects of pulsed radio frequency treatment of the dorsal root ganglion on cerebrospinal fluid cellular and peptide constituents in patients with chronic radicular pain: a randomised, triple-blinded, controlled trial[J]. J Neuroimmunol, 2020, 343:577219.

[15] Masuda T, Tsuda M, Yoshinaga R, et al. IRF8 is a critical transcription factor for transforming microglia into

- a reactive phenotype[J]. *Cell Rep*, 2012, 1(4):334-340.
- [16] Liu R, Xu X, Xu Y, *et al.* Pulsed radiofrequency on dorsal root ganglion relieved neuropathic pain associated with downregulation of the spinal interferon regulatory factor 8, microglia, p38MAPK expression in a CCI rat model[J]. *Pain Physician*, 2018, 21(4): E307-E322.
- [17] Xu X, Fu S, Shi X, *et al.* Microglial BDNF, PI3K, and p-ERK in the spinal cord are suppressed by pulsed radiofrequency on dorsal root ganglion to ease SNI-induced neuropathic pain in rats[J]. *Pain Res Manag*, 2019, 2019:5948686.
- [18] Vallejo R, Tilley DM, Williams J, *et al.* Pulsed radiofrequency modulates pain regulatory gene expression along the nociceptive pathway[J]. *Pain Physician*, 2013, 16:E601-E613.
- [19] Lin ML, Lin WT, Huang RY, *et al.* Pulsed radiofrequency inhibited activation of spinal mitogen-activated protein kinases and ameliorated early neuropathic pain in rats[J]. *Eur J Pain*, 2014, 18(5):659-670.
- [20] Wan CF, Liu Y, Dong DS, *et al.* Bipolar high-voltage, long-duration pulsed radiofrequency improves pain relief in postherpetic neuralgia[J]. *Pain Physician*, 2016, 19(5):E721-728.
- [21] 李泽敏, 李航, 王奇, 等. 颈2背根神经节射频治疗颈源性头痛疗效及影响因素分析 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2022, 28(1):65-68.
- [22] 李少军, 冯丹, 袁峰, 等. 颈2背根神经节脉冲射频及神经阻滞术治疗颈源性头痛的疗效和影响因素分析 [J]. 中华保健医学杂志, 2019, 21(6):521-524.
- [23] 王渐克, 吴迪, 黄岩石, 等. 背根神经节脉冲射频联合选择性神经阻滞治疗神经根型颈椎病 [J]. 颈腰痛杂志, 2021, 42(4):522-525.
- [24] O'Gara A, Leahy A, McCrory C, *et al.* Dorsal root ganglion pulsed radiofrequency treatment for chronic cervical radicular pain: a retrospective review of outcomes in fifty-nine cases[J]. *Ir J Med Sci*, 2020, 189(1): 299-303.
- [25] Yang S, Chang MC. Effect of bipolar pulsed radiofrequency on chronic cervical radicular pain refractory to monopolar pulsed radiofrequency[J]. *Ann Palliat Med*, 2020, 9(2):169-174.
- [26] 王敏, 李彦平, 陈春梅, 等. 背根神经节脉冲射频治疗腰椎管狭窄病人腰骶部放射痛的临床观察 [J]. 临床和实验医学杂志, 2017, 16(5):425-427.
- [27] Chang MC, Cho YW, Ahn SH. Comparison between bipolar pulsed radiofrequency and monopolar pulsed radiofrequency in chronic lumbosacral radicular pain: a randomized controlled trial[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(9):e6236.
- [28] Lee DG, Cho YW, Ahn SH, *et al.* The effect of bipolar pulsed radiofrequency treatment on chronic lumbosacral radicular pain refractory to monopolar pulsed radiofrequency treatment[J]. *Pain Physician*, 2018, 21(2):E97-E103.
- [29] 王静, 陶熔, 夏令杰, 等. 体外冲击波联合背根神经节脉冲射频治疗脊柱源性腹痛的疗效观察 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(2):121-126.
- [30] Albayrak I, Apiliogullari S, Dal CN, *et al.* Efficacy of pulsed radiofrequency therapy to dorsal root ganglion adding to TENS and exercise for persistent pain after total knee arthroplasty[J]. *J Knee Surg*, 2017, 30(2): 134-142.
- [31] Hetta DF, Mohamed SAB, Mohamed KH, *et al.* Pulsed radiofrequency on thoracic dorsal root ganglion versus thoracic paravertebral nerve for chronic postmastectomy pain, a randomized trial: 6-month results[J]. *Pain Physician*, 2020, 23(1):23-35.
- [32] 徐清榜, 陈永兵, 张金强, 等. 背根神经节脉冲射频治疗椎体转移瘤根性痛 [J]. 实用医学杂志, 2019, 35(23):3613-3617.
- [33] Arai YC, Nishihara M, Yamamoto Y, *et al.* Dorsal root ganglion pulsed radiofrequency for the management of intractable vertebral metastatic pain: a case series[J]. *Pain Med*, 2015, 16(5):1007-1012.
- [34] Hong LW, Chen KT. A real-world evidence of a consecutive treatment of 42 spine-related pain using dorsal root ganglion-pulsed radiofrequency (DRG-PRF)[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2020, 197:106186.
- [35] Li J, Yin Y, Ye L, *et al.* Pulsed radiofrequency of C<sub>2</sub> dorsal root ganglion under ultrasound-guidance and CT confirmed for chronic headache: follow-up of 20 cases and literature review[J]. *J Pain Res*, 2020, 13:87-94.
- [36] Facchini G, Spinnato P, Guglielmi G, *et al.* A comprehensive review of pulsed radiofrequency in the treatment of pain associated with different spinal conditions[J]. *Br J Radiol*, 2017, 90(1073):20150406.
- [37] 樊碧发, 冯智英, 顾柯, 等. 脊髓电刺激治疗慢性疼痛专家共识 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2021, 27(6):406-409.
- [38] Esposito MF, Malayil R, Hanes M, *et al.* Unique characteristics of the dorsal root ganglion as a target for neuromodulation[J]. *Pain Med*, 2019, 20(Suppl 1):S23-S30.
- [39] 倪兵, 杜涛, 胡永生, 等. 背根神经节电刺激治疗慢性疼痛现状及国产化前景 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2021, 27(11):810-814.