



背根神经节电刺激临床应用进展

徐佳丽 宋 涛[△]

(中国医科大学附属第一医院疼痛科, 沈阳 110001)

摘 要 背根神经节电刺激是一种新兴的神经调控方法, 在国外已有超过 10 年的临床应用, 并取得了良好效果, 但国内尚未使用。与脊髓电刺激相比, 背根神经节电刺激具有对疼痛区域刺激精准稳定、对足、腰背部的治疗效果更好、电极移位明显减少等多种优势。它不仅可以作为下肢 I 型或 II 型复杂性区域疼痛综合征的首选治疗方法, 也可应用在糖尿病周围神经病变、腹股沟区疼痛等疾病中。本文着重介绍了背根神经节电刺激的临床应用、适应证、禁忌证和电极的置入方法。

关键词 背根神经节; 电刺激; 神经病理性疼痛; 神经调控

脊髓电刺激 (spinal cord stimulation, SCS) 自 1967 年首次应用于临床至今, 已有 50 余年历史。作为临床上常用的神经调控技术, 已被广泛应用于慢性疼痛的治疗中。但临床上也发现其某些不足, 例如, 电极易移位、使非治疗区域产生异感、电流覆盖区域随体位变化、对足、腰背部及肢体远端电流覆盖不佳、长期疗效减退等。因此部分慢性疼痛病人并未得到满意治疗。随着神经调控技术的发展, 出现了更多的电刺激方式, 包括高频 SCS、簇式 (Burst) SCS 以及背根神经节电刺激等。

背根神经节电刺激在国外已有超过 10 年的临床应用, 被作为下肢 I 型或 II 型复杂性区域疼痛综合征^[1-3]的首选治疗, 也在糖尿病周围神经病变^[4-6]、腹股沟区疼痛^[7,8]等多种难治性疼痛中体现出较好的治疗效果。虽然国内对于背根神经节电刺激的报道较少, 但其特有的优势将为更多慢性疼痛病人带来希望。本文将综合国外现有的背根神经节电刺激相关报道, 对其临床应用现状及电极置入方法进行阐述, 并对目前可应用于国内的背根神经节电刺激进行简单介绍。

一、概述

1. 背根神经节电刺激治疗神经病理性疼痛的机制

背根神经节 (dorsal root ganglion, DRG) 是感觉传导的初级神经元, 在神经病理性疼痛的发生发展以及感觉异常的产生中起到关键作用。DRG 包含假单极初级神经元, 其特有的 T 型结构分为两支, 分别延伸到外周和脊髓。这种 T 型结构在动作电位从外周感受器到脊髓背角的传播中起到低通滤波器的

作用, 可以帮助或者阻碍电脉冲的传播, 从而调控疼痛信号的传播过程^[9,10]。根据解剖与功能的特征, 初级传入神经纤维主要分为三类: 大直径、有髓鞘、传导速度最快的 A β 纤维, 是低阈值机械感受器, 传导触、压觉; 直径较小、薄髓鞘、传导速度较慢的 A δ 纤维, 是低阈值、高阈值机械或温度感受器, 传导触觉和痛觉; 小直径、无髓鞘、传导速度最慢的 C 纤维, 是低阈值、高阈值机械或温度、化学感受器, 传导痛觉。

研究发现背根神经节电刺激可改变 DRG 神经元的异常活性, 从而减轻神经病理性疼痛^[11], 可能的机制包括: ①抑制了 C 类神经元损伤状态下的异位放电; ②提高了 T 型结构的低通滤波作用, 阻断了外周电信号的传入^[12] (见图 1); ③通过重复激活大的有髓纤维 (A β 纤维) 来激活脊髓背角的疼痛门控机制, 使闸门关闭从而减轻疼痛^[13]; ④下调 DRG 内感觉神经元的众多离子通道 (TRPV1、TRPV2、P2X3 和 TTX-R 钠离子通道等), 降低 DRG 内感觉神经元的敏感性即降低外周敏化; ⑤抑制神经胶质细胞的活化, 减少炎症反应的产生; ⑥逆转异常的基因表达以及信号转导, 降低神经元的兴奋性等^[10]。

2. 背根神经节电刺激与 SCS 相比的优势

由于 DRG 周围解剖位置的局限性, 放置在其中的电极不易移位, 可以保证电流覆盖区域和电刺激强度的稳定性^[14]。SCS 优先刺激 A β 纤维, 而背根神经节电刺激可同时刺激 A β 纤维、A δ 纤维和 C 纤维^[15]。此外, 包裹背根神经节神经元的脑脊液在局部形成一个薄凹槽, 使得电流分散减少, 限制了刺

[△] 通信作者 宋涛 songt2001@163.com

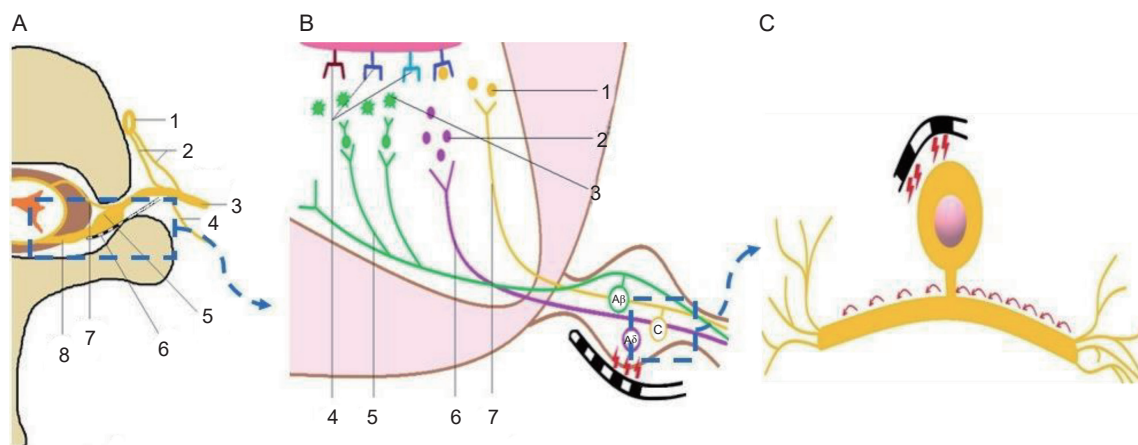


图1 背根神经节电刺激作用机制与背根神经节内假单极初级神经元 T 型结构示意图

(A) 1. 交感神经节; 2. 交通支; 3. 前支; 4. 后支; 5. 背根神经节; 6. 刺激电极; 7. 前根; 8. 后根; (B) 背根神经节电刺激下, 所有类型低阈值机械感受器纤维亚群的激活都会引起脊髓背角内源性阿片类药物的释放。1. 强啡肽; 2. 谷氨酸/P 物质; 3. 脑啡肽; 4. 阿片受体; 5. A β 纤维 (低阈值机械感受器); 6. A δ 纤维 (低阈值/高阈值机械感受器、温度感受器); 7. C 纤维 (低阈值/高阈值机械感受器、温度/化学感受器); (C) 背根神经节内假单极初级神经元的 T 型结构。在电刺激作用下其低通滤波作用增强, 外周电信号传入减少。

激信号向周围组织传递, 可以给疼痛部位带来精准、稳定的麻刺感, 减少了非疼痛区域的异感^[7]。此时较小的电流便可带来较好的镇痛效果, 节约了电池的电量^[16]。最后, 背根神经节电刺激能够在腰背部和足部等形成稳定的电流覆盖, 这是 SCS 难以达到的^[14]。

3. 适应证与禁忌证

美国食品药品监督管理局 (Food and Drug Administration, FDA) 在 2016 年 2 月批准使用背根神经节电刺激, 但适应证仅限于复杂性区域疼痛综合征和周围性灼痛等慢性神经病理性疼痛。因植入 T₁₀ 以上的安全性和有效性尚未评估, 故植入的解剖区域也仅限于 T₁₀ 以下, 包括腰椎和骶椎。但在欧洲, 批准使用背根神经节电刺激无任何解剖学限制, 适应证包括各种原因引起的慢性神经病理性疼痛。但手术适应人群必须满足以下条件: ①年满 18 周岁; ②为非妊娠状态; ③心理状态稳定; ④无未经治疗的药物依赖问题; ⑤经宣教后可以理解并操作该装置^[17]。若病人凝血功能异常、体内有尚未控制的感染、身体条件差无法耐受手术, 则不应进行背根神经节电刺激术。腰椎退行性病变、既往腰椎手术史或存在不稳定的腰椎滑脱是背根神经节电刺激的相对禁忌证^[18]。因电极放置的最终位置为椎间孔, 故椎间孔的重度狭窄是绝对禁忌证。术者应在术前评估病人的椎间孔、侧隐窝、硬膜外腔等结构是否具备手术条件。

二、背根神经节电刺激的临床应用

近年来背根神经节电刺激已应用于多种疾病的

治疗中, 包括复杂性区域疼痛综合征^[1-3]、糖尿病周围神经病变^[4-6]、腹股沟区疼痛^[7,8]、术后疼痛^[19,20]、残肢痛和幻肢痛^[21]、带状疱疹后神经痛^[22]等。相关研究表明背根神经节电刺激术感染风险较低, 安全性较高^[8]。神经调控适用性共识委员会 (The Neuromodulation Appropriateness Consensus Committee, NACC) 认为背根神经节电刺激是下肢 I 型或 II 型复杂性区域疼痛综合征的有效疗法, 且优于 SCS 的治疗^[17]。

目前, 国外只有雅培 (Abbott) 公司的 AxiumTM 电极及 ProclaimTM 脉冲发生器被批准用于背根神经节电刺激治疗^[23]。FDA 批准的背根神经节电刺激设备脉冲频率的可编程范围为 4~80 Hz, 默认值为 20 Hz^[1]。有研究表明在背根神经节电刺激中, 使用低频电刺激 (< 20 Hz) 也可取得良好的治疗效果, 将刺激频率逐渐减少到 4 Hz, 即极低频状态下时, 治疗效果仍然稳定^[24]。极低频背根神经节电刺激治疗的机制可能与低阈值机械感受器参与的内源性阿片受体激活有关。

三、背根神经节电刺激操作技巧

1. 背根神经节电刺激治疗靶点的选择

疼痛医师通常可以根据临床经验和辅助检查结果判断出病人疼痛区域对应的神经节段, 但若病人存在严重的中枢敏化或去传入性疼痛 (deafferentation pain) 时, 目标神经根可能无法准确定位, 此种情况下可以进行感觉测试。Hunter^[25] 和 Zuidema^[26] 指出可以使用“经椎间孔”穿刺方法将射频套管针置于椎间孔背侧靠近 DRG 的位置, 同时测试多个



DRG 进行比较, 测试过程中逐步增加射频能量, 当异感完全覆盖疼痛区域时, 可以借此判断受累的神 经节段。但不同的神经根有时能达到相似的治疗效 果, 这提示我们治疗某区域的神经病理性疼痛时可 选择的靶点可能不止一个^[17]。不同的疼痛区域常选 择的刺激节段见表 1。

2. 背根神经节电刺激穿刺套件介绍

在国外的背根神经节电刺激中, 穿刺套件包括 穿刺针、护套及导丝。穿刺针进入硬膜外腔后, 通 过护套放置电极。护套内部用薄的不锈钢编织层加 固, 可以最大程度地减少扭结, 侧面有一锁扣和注 入口。注入口有两个作用: 一是可以注入药物和盐 水, 以减少导丝与护套的粘连; 二是其方向与护套 的弯曲方向相同, 可以起到引导作用。当护套尖端 与穿刺针针尖对齐后, 要注意护套及侧面注入口的 旋转角度不要超过 90° (见图 2), 否则可能造成 护套损坏。在椎弓根下方和椎间孔外侧有很多排列

成网状的韧带, 单靠护套很难顺利穿透, 此时可以 借助配备的导丝增加护套的刚性, 以便顺利通过。 需要注意的是, DRG 在椎间孔内的位置是变化的, 在 X 线下很难直接观察。因此, 护套前进过程中遇 到的阻力也可能来自 DRG 或神经根。护套配备导 丝进行穿刺时, 若遇阻力不可强行穿刺, 否则由于 导丝的刚性很可能导致 DRG 的损伤。

另一种方法是先将导丝锁定在护套中, 穿刺过 程中当护套难以前进时, 松开锁扣, 轻柔用力使导 丝推进到护套末端之外, 为护套创造继续前进的 通路。若护套仍然无法前进, 则可以在保持护套尖端 固定的同时移除导丝, 放置电极, 使电极沿导丝开 辟的通道前进^[17]。

3 临床常用置入方法

(1) 常规穿刺路径: Vancamp 等^[27]介绍了一 种从尾侧椎体向目标椎体穿刺的方法, 根据跨越椎 体数的不同分为单节段技术 (1-Level-Technique) 和

表 1 不同疼痛区域常用刺激节段^[17]

刺激节段	疼痛部位										
	腰部	盆腔	腹股沟	臀部	睾丸	会阴	大腿	膝	小腿	踝	足
T ₁₁		*	*	*	**						
T ₁₂		**	****	*	**	*					
L ₁	**	***	****	***	****	**	*				
L ₂	****	*	****	****	***	*	****	**			
L ₃	**	*	*	**			****	****	*		
L ₄		*		*			*	***	****	***	**
L ₅				*		*			***	***	****
S ₁		*				**			**	*	***
S ₂		***			***	***					
S ₃		***			***	****					
S ₄						**					

* 数量与建议程度成正比

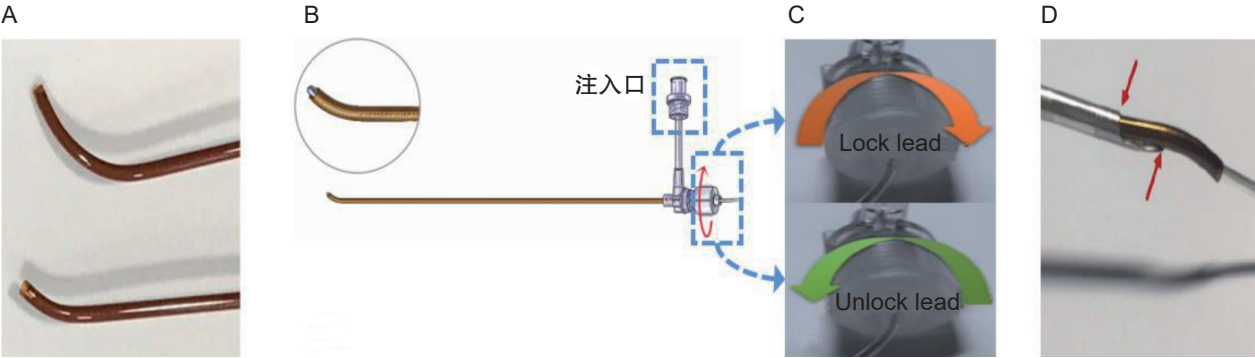
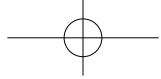


图 2 (A) 不同曲率的护套; (B) 配备导丝的护套 (侧面注入口与护套弯曲方向一致); (C) 顺时针旋转锁扣可以将电极 锁定在护套内, 逆时针旋转则可以解锁; (D) 护套旋转了 180°, 很可能损坏护套及其中的电极^[17,27]。



双节段技术 (2-Level-Technique)^[27]。行单节段技术穿刺时, 进针点位于目标 DRG 尾侧一个椎体水平的对侧; 行双节段技术穿刺时, 进针点位于目标 DRG 尾侧两个椎体水平的对侧 (见图 3)。两者相比, 双节段技术更常用, 且电极更不易移位。不考虑腰椎骶化和骶椎腰化的情况, 由于腰椎解剖的限制, 双节段技术主要用于 L₃ 及以上背根神经节电刺激, 单节段技术可用于 L₄ 背根神经节电刺激。行 L₅ 背根神经节电刺激时, 无法跨越椎体穿刺, 其电极置入手法通常被称为主要技术 (primary technique) 和次要技术 (secondary technique) (见图 3), 主要技术在一定程度上模仿了单节段技术, 次要技术仅在主要技术不可行时考虑使用。两者都采用对侧入路, 可以提供充足的尾侧至头侧穿刺路径。但使用次要技术穿刺时, 穿刺针与水平线成角大约 80°, 使针头几乎垂直进入椎间隙。虽便于穿刺, 但却使电极更易移位而离开椎间孔。

以双节段技术穿刺方法为例, 过程如下: 病人取俯卧位, 腹部垫枕以减少腰椎前凸, 进针点位于目标 DRG 尾侧两个椎体水平的对侧, 大致在椎弓根外侧缘。这种方法使针尖与水平线成角较小, 约 30°, 可最大程度地降低刺破硬膜的风险, 并可减少电极移位。穿刺针在 X 线引导下穿过黄韧带时, 针尖应位于中线处棘突的下方 (见图 4)。穿刺时阻力丧失可以证明针尖已经进入硬膜外腔。在穿刺针中置入前端略弯曲的护套, 通过旋转并调整护套开口方向, 使其中电极送入时向椎管外侧前进。理想位置为: 侧视图中可见电极位于椎间孔上 1/3 处且偏向背侧; 正视图中可见电极上第一触点位于椎弓根外侧, 第二、三触点位于椎弓根下方。结合术中刺激、病人反馈及 X 线检查来确定电极的最佳位置后, 需部署硬膜外减压环, 以最大程度减少电极的张力, 防止其移位和折断。具体方法如下: 将护套退回穿刺针内, 锁定电极并将穿刺针向头侧推进, 当电极向头侧弯曲时, 解锁, 向前推进电极形成上环。若护套突出于穿刺针外需注意将其退回穿刺针内。再次锁定电极, 针尖转向目标 DRG 使电极向下弯曲, 稍前进, 形成下环的顶端, 解锁并推进电极, 形成下环的一半。以同样的方法再次将针尖朝向目标 DRG 操作, 完成下环。由于解剖结构及穿刺路径限制, 并非所有减压环都由上环及下环组成 (见图 4)。Vancamp 等^[27] 不建议使用多环部署, 因为多环部署会增加将来电极拔除的难度, 若用力拔除导致电极断裂, 可能需要外科介入, 增加病人负担。减压环部署完成后, 一手固定电极, 一手缓慢退出

护套。保留穿刺针, 在皮肤进针点处作一切口, 分离至筋膜, 然后像典型的 SCS 一样, 将电极固定在筋膜上。最后退出穿刺针, 闭合切口。

在胸椎 DRG 电极放置方法中, 下部胸椎与上部腰椎非常相似。而在上胸椎中, 因椎管直径变小和椎间孔角度的变化, 入针角度可能更陡。此时需要弯曲程度更小的护套配合操作。一般而言, 当尝试放置在 T₁₀ 以上时, 操作要更精细, 同时要通过病人反馈或神经监测来避免神经系统损伤的情况发生 (见图 4)。

颈椎 DRG 电极放置方法与上位胸椎放置方法非常相似, 但需要注意几点: ①在解剖方面, 高位颈椎中用于穿刺及电极放置的空间较小, 会增加血管损伤的风险; ②进针点应位于目标椎间隙下方一个半到两个节段的位置。最常见的电极放置位置是 C₆ 或 C₇, 极少刺激 C₅ 及以上水平的 DRG。

(2) 逆向穿刺路径: Al-Kaisy 等^[18] 介绍了一种从头侧至尾侧进针的逆向入路方法。病人体位同上,

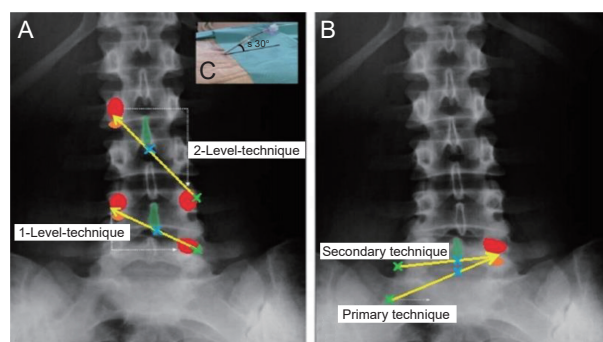


图 3 (A) 单节段技术与双节段技术; (B) 主要技术和次要技术; (C) 显示穿刺针与皮肤成角, $\leq 30^\circ$ 为宜。可见不同穿刺技术与腰椎椎体的关系^[27]。解剖标志: 椎弓根 (红色)、棘突 (绿色)、包含 DRG 在内的椎间孔上 1/3 处 (橙色)。绿色 ×: 代表皮肤进针点。蓝色 ×: 指示穿刺针通过黄韧带时的针尖位置, 应位于中线处棘突的下方。黄色 ↑: 穿刺方向

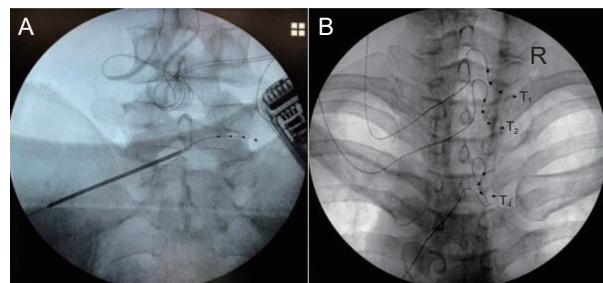


图 4 (A) 在 DSA 引导下推进护套, 将电极从椎间孔内向头侧送入 DRG 背侧; (B) T₁、T₂ 和 T₄ DRG 处的电极放置。T₄ 处可见减压环上环及下环^[17,27]

进针点标记在目标 DRG 所在椎间孔处上位椎体的对侧上关节突上。在标记点沿人体纵轴做一个 2 cm 的正中切口，将组织分离至椎前筋膜，创建一囊袋作为电极锚定点。穿刺针朝着目标 DRG 对侧椎弓根的下半部方向进针，沿人体中线进入硬膜外腔。置入护套后，将电极自头端向尾端经椎弓根下缘送入目标椎间孔。Al-Kaisy 等使用的是 31 mm 长的 8 触点超小型电极，其触点长度 3 mm，间隔 1 mm，电极直径为 1.3 mm。最佳的电极位置为第四、五触点对应椎弓根的中心。

(3) 经椎间孔方法：骶椎 DRG 电极的放置与腰椎和胸椎区域的技术不同，常采用经椎间孔的方法，从外向内送入电极。若在 DSA 机 X 光引导下操作，穿刺针针尖抵达骶后孔边缘触及骨性结构时，调整针尖向孔内前进 1~1.5 cm。通过 X 线侧位像观察针尖的深度，针的斜面应位于骶孔内。按照前述方法置入电极，直到在 X 线侧位像中观察到远端触点到达骶骨腹侧边缘。考虑到 DRG 解剖位置的变异^[28]，可以将部分触点保留在骶管内，以达到最佳刺激效果。但电极的最终位置仍需要通过神经监测或术中测试来确定（见图 5）。

四、国内现状

背根神经节电刺激特殊的穿刺设备尚未引进，国内部分专家利用现有的 SCS 设备做了很多有益的尝试。唐硕等^[29]采用跨节段的硬膜外入路行椎间孔周围神经电刺激治疗带状疱疹性神经痛，术后疼痛缓解良好，且疗效优于 SCS 组。其穿刺方法与电极置入部位与上述提到的 DRG 常规穿刺路径相似，经过进一步改进有望实现背根神经节电刺激。但此方法因为没有带弧度的护套设备，操作难度相对较大，有失败的可能，从操作难度和安全性的角度考虑，较适合下腰段。另外放置电极时可能需要反复操作，在没有特殊的更细更柔软的电极的条件下，

要格外注意避免神经根和 DRG 的损伤。

此外，我科曾尝试于 CT 引导下穿刺，经椎间孔由外向内放置电极刺激 DRG。此方法操作简单，穿刺节段没有严格限制，适应人群广泛。特别是还可以作为脊柱解剖异常（如脊柱侧弯、驼背、压缩性骨折等）的病人无法行 SCS 时的补救措施。移位几率高是这一方法的主要问题，因此主要适合行短时程电刺激的病人，同时穿刺时尽量避开肌肉层也可以减少移位的概率。以上两种方法都需要在临床实践中不断改进，确定适应证、禁忌证，在提高疗效的同时最大限度保证病人的安全。

五、总结

背根神经节电刺激作为一种新兴的神经调控方式，与 SCS 相比拥有一定的优势。DRG 周围局限的解剖结构以及特有的置入方法使电极的放置更牢固，从而使刺激效果更加精准稳定。背根神经节电刺激在下肢 I 型或 II 型复杂性区域疼痛综合征治疗中已有显著成效，并在腹股沟区疼痛、足及腰背部区域的疼痛、开胸术后疼痛综合征和乳房切除后疼痛中都体现出了良好的治疗效果。尽管由于临床研究的限制，背根神经节电刺激在盆腔痛、残肢痛和幻肢痛治疗中的安全性和有效性还有待考察，但不可否认的是，背根神经节电刺激作为疼痛医师的新武器，将为神经病理性疼痛的治疗带来更多的选项。

利益冲突声明：作者声明本文无利益冲突。

参 考 文 献

- [1] Deer TR, Levy RM, Kramer J, *et al.* Dorsal root ganglion stimulation yielded higher treatment success rate for complex regional pain syndrome and causalgia at 3 and 12 months: a randomized comparative trial[J]. *Pain*, 2017, 158(4):669-681.
- [2] Harrison C, Epton S, Bojanic S, *et al.* The efficacy and safety of dorsal root ganglion stimulation as a treatment for neuropathic pain: a literature review[J]. *Neuromodulation*, 2018, 21(3):225-233.
- [3] Levy RM, Mekhail N, Kramer J, *et al.* Therapy habituation at 12 months: spinal cord stimulation versus dorsal root ganglion stimulation for complex regional pain syndrome type I and II[J]. *J Pain*, 2020, 21(3-4): 399-408.
- [4] Schu S, Mutagi H, Kapur S, *et al.* Sustained pain relief in painful diabetic neuropathy (PDN) achieved through targeted spinal cord stimulation (SCS): a retrospective case series[J]. *Neuromodulation*, 2015, 18:91.
- [5] Eldabe S, Espinet A, Kang P, *et al.* Dorsal root ganglia stimulation for painful diabetic peripheral neuropathy:

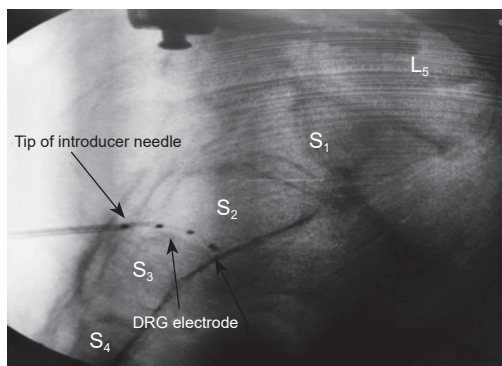


图 5 穿刺针针头已刺入 S₂ 骶孔，电极占据整个骶孔^[17]



- a preliminary report[J]. *Neuromodulation*, 2017, 20:51.
- [6] Eldabe S, Espinet A, Wahlstedt A, *et al.* Retrospective case series on the treatment of painful diabetic peripheral neuropathy with dorsal root ganglion stimulation[J]. *Neuromodulation*, 2018, 21(8):787-792.
- [7] Schu S, Gulve A, Eldabe S, *et al.* Spinal cord stimulation of the dorsal root ganglion for groin pain-a retrospective review[J]. *Pain Pract*, 2015, 15(4):293-299.
- [8] Stelter B, Karri J, Marathe A, *et al.* Dorsal root ganglion stimulation for the treatment of non-complex regional pain syndrome related chronic pain syndromes: a systematic review[J]. *Neuromodulation*, 2021, 24(4):622-633.
- [9] Gemes G, Koopmeiners A, Rigaud M, *et al.* Failure of action potential propagation in sensory neurons: mechanisms and loss of afferent firing in c-type units after painful nerve injury[J]. *J Physiol*, 2012, 591(4):1111-1131.
- [10] Krames ES. The dorsal root ganglion in chronic pain and as a target of neuromodulation: a review[J]. *Neuromodulation*, 2015, 18(1):24-32.
- [11] Koopmeiners AS, Mueller S, Kramer J, *et al.* Effect of electrical field stimulation on dorsal root ganglion neuronal function[J]. *Neuromodulation*, 2013, 16(4):304-311.
- [12] Kent AR, Min X, Hogan QH, *et al.* Mechanisms of dorsal root ganglion stimulation in pain suppression: a computational modeling analysis[J]. *Neuromodulation*, 2018, 21(3):234-246.
- [13] Graham RD, Bruns TM, Duan B, *et al.* Dorsal root ganglion stimulation for chronic pain modulates Abeta-fiber activity but not C-fiber activity: a computational modeling study[J]. *Clin Neurophysiol*, 2019, 130(6):941-951.
- [14] Liem L, Russo M, Huygen FJPM, *et al.* A multicenter, prospective trial to assess the safety and performance of the spinal modulation dorsal root ganglion neurostimulator system in the treatment of chronic pain[J]. *Neuromodulation*, 2013, 16(5):471-482.
- [15] 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:S23-S30.
- [16] 李慧莉, 王云. 脊髓和背根神经节电刺激治疗慢性疼痛机制研究进展 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2018, 24(1):3-7.
- [17] Deer TR, Pope JE, Lamer TJ, *et al.* The neuromodulation appropriateness consensus committee on best practices for dorsal root ganglion stimulation[J]. *Neuromodulation*, 2019, 22(1):1-35.
- [18] Al-Kaisy A, Royds J, Costanzi M, *et al.* Effectiveness of "Transgrade" epidural technique for dorsal root ganglion stimulation. a retrospective, single-center, case series for chronic focal neuropathic pain[J]. *Pain Physician*, 2019, 22(6):601-611.
- [19] Espinet AJ. Stimulation of dorsal root ganglion (DRG) for chronic post-surgical pain (CPSP): a retrospective single centre case series from Australia using targeted spinal cord stimulation (SCS)[J]. *Neuromodulation*, 2015, 18:e93.
- [20] Liem L, Nijhuis H, Huygen FJPM, *et al.* Treatment of chronic post-surgical pain (CPSP) using spinal cord stimulation (SCS) of the dorsal root ganglion (DRG) neurostimulation: results from two prospective studies[J]. *Pain Pract*, 2014, 14:3-4.
- [21] Eldabe S, Burger K, Moser H, *et al.* Dorsal root ganglion (DRG) stimulation in the treatment of phantom limb pain (PLP)[J]. *Neuromodulation*, 2015, 18(7):610-617.
- [22] Kim JH, Apigo A, Fontaine C. Dorsal root ganglion stimulation for refractory post-herpetic neuralgia[J]. *Pain Practice*, 2021, 21(7):794-798.
- [23] St. Jude Medical [now Abbott]. Proclaim™ DRG Implantable Pulse Generator. Clinician's Manual. Plano, TX: St. Jude Medical, 2017.
- [24] Chapman KB, Yousef TA, Vissers KC, *et al.* Very low frequencies maintain pain relief from dorsal root ganglion stimulation: an evaluation of dorsal root ganglion neurostimulation frequency tapering[J]. *Neuromodulation*, 2021, 24(4):746-752.
- [25] Hunter CW, Yang A, Davis T. Selective radiofrequency stimulation of the dorsal root ganglion (DRG) as a method for predicting targets for neuromodulation in patients with post amputation pain: a case series[J]. *Neuromodulation*, 2017, 20(7):708-718.
- [26] Zuidema X, Breel J, Wille F. Paresthesia mapping: a practical workup for successful implantation of the dorsal root ganglion stimulator in refractory groin pain[J]. *Neuromodulation*, 2014, 17(7):665-669.
- [27] Vancamp T, Levy RM, Peña I, *et al.* Relevant anatomy, morphology, and implantation techniques of the dorsal root ganglia at the lumbar levels[J]. *Neuromodulation*, 2017, 20(7):690-702.
- [28] Vialle E, Vialle LR, Contreras W, *et al.* Anatomical study on the relationship between the dorsal root ganglion and the intervertebral disc in the lumbar spine[J]. *Rev Bras Ortop*, 2015, 50(4):450-454.
- [29] 唐硕, 闫栋, 崔敬碌, 等. 经椎间孔周围神经电刺激与脊髓电刺激治疗带状疱疹神经痛的疗效对比 [J]. 局解手术学杂志, 2017, 26(7):505-508.