

骨内椎基神经射频消融术治疗症状性 Modic 改变的研究进展

廖贵¹, 蒙玉民², 邹专¹, 肖开振¹, 黄光瑜¹, 顾容赫¹

(1. 南宁市第一人民医院骨科, 广西 南宁 530000; 2. 广西医科大学第一附属医院心血管内科, 广西 南宁 530021)

【摘要】 退变椎体终板引起的慢性腰背部疼痛一直困扰着广大患者与临床工作者, 骨内椎基神经射频消融术是一种新的脊柱微创治疗手段, 其通过对退变椎体终板进行射频消融术, 使相应椎体椎基神经发生变性, 阻断椎基神经的伤害性信号传导, 从而减轻由退化椎体终板引起的腰痛症状。目前国外已有骨内椎基神经射频消融术的手术原理、手术方式、临床疗效及相关并发症较多报道。本文的主要目的是对目前已有的相关研究进行综合分析, 为后续的临床研究提供参考依据。

【关键词】 骨内椎基神经射频消融术; 慢性腰痛; 椎体退变; Modic 改变

中图分类号: R681.5+1

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20220916

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Progress of intraosseous basivertebral nerve ablation for symptomatic Modic alterations

LIAO Gui¹, MENG Yu-min², ZOU Zhuan¹, XIAO Kai-zhen¹, HUANG Guang-yu¹, GU Rong-he¹ (1. Department of Orthopaedics, the First People's Hospital of Nanning City, Nanning 530000, Guangxi, China; 2. Department of Cardiology, the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, Guangxi, China)

ABSTRACT Chronic lumbar and back pain caused by degenerative vertebral endplates presents a challenging issue for patients and clinicians. As a new minimally invasive spinal treatment method, radiofrequency ablation of vertebral basal nerve in bone can denature the corresponding vertebral basal nerve through radiofrequency ablation of degenerative vertebral endplate. It blocks the nociceptive signal transmission of the vertebral base nerve, thereby alleviating the symptoms of low back pain caused by the degenerative vertebral endplate. At present, many foreign articles have reported the operation principle, operation method, clinical efficacy and related complications of radiofrequency ablation of the vertebral basal nerve. The main purpose of this paper is to conduct a comprehensive analysis of the current relevant research, and provide a reference for the follow-up clinical research.

KEYWORDS Intraosseous basivertebral nerve ablation (IBVNA); Chronic low back pain; Vertebral degeneration; Modic Change

慢性腰痛是全世界范围内最常见的肌肉骨骼疾病,也是导致残疾和无法继续工作的主要原因^[1-2]。近年来, BRAZILL 等^[3]发现并记录了人类椎体内丰富的神经分布,并表示腰背部疼痛可能与椎体终板神经损害有关。椎体终板是椎体的上下边缘,作为一个重要的组织结构,既要坚固以防止椎骨骨折,又要多孔以促进椎间盘组织和椎体毛细血管之间的物质运输^[4]。因此,椎体终板特别容易受到炎症、创伤及神经增殖的损伤,引起相应的疼痛不适^[5]。椎体终板的病理退行性改变首次由 MODIC 等^[6]提出。且多项

独立研究和系统综述^[7-11]表明, Modic 改变与腰痛相关。骨内椎基神经射频消融术是治疗 Modic 改变症状性腰痛的有效方法^[12]。目前,慢性腰痛的治疗方式主要分为保守治疗和侵入性治疗,全椎间盘置换术或腰椎融合术等侵入性操作治疗后,患者的疼痛及功能虽在短时间内得到了相应的改善,但长期的观察发现患者易发生腰背部僵硬和活动明显受限,导致社会心理功能及生活质量下降^[13-14]。鉴于慢性腰痛的患者逐步增多,迫切需要开发微创的、有效的和具有成本效益的新治疗方法。所以,骨内椎基神经射频消融术一经发现就得到广大临床工作者的关注。

1 骨内椎基神经射频消融术手术原理及方式

1.1 手术原理

椎体终板是营养物质进入椎间盘的调节器,其包含丰富的椎体毛细血管,促进营养物质运输到无

基金项目: 吴阶平医学基金会课题(编号: 320.6750.20020-06-60)

Fund program: WU Jieping Medical Foundation Project (No.320.6750.20020-06-60)

通讯作者: 顾容赫 E-mail: 604303211@qq.com

Corresponding author: GU Rong-he E-mail: 604303211@qq.com

血管的椎间盘^[15-16]。椎体终板与椎间盘紧密相连,由于椎间盘施加的强大力量,椎体终板特别容易受到损伤,导致促炎因子及神经源性因子分泌并从椎间盘髓核渗漏,通过终板进入椎体内^[11,17-18]。随后发生的炎症反应导致相关化学反应和使椎体终板痛觉感受器增殖,从而增加对来自椎间盘及周围组织压力引起的疼痛的敏感性^[5]。

1988 年 MODIC 等^[6]对椎体终板进行了放射学描述,统一归类为椎体终板 Modic 改变,并将其分类为纤维血管炎性改变(Modic I 型)、脂肪骨髓改变(Modic II 型)、椎体终板和椎体硬化(Modic III 型)。其中 Modic I 型和 II 型与慢性腰部疼痛关系更密切^[12,15]。Modic 改变的症状性腰痛是一种复杂的、多维的疾病。KJAER 等^[19]和 EKSI 等^[10]已证明具有 Modic 改变的椎体与腰痛症状密切相关,且在临床上不同于非特异性腰痛,其疼痛发作的频率更高、持续时间更长,以及保守治疗和手术的结果更差。研究表明椎体及终板的神经支配主要来自窦椎神经^[11]。ANTONACCI 等^[20]对人椎体神经分布进行探索,发现窦椎神经在椎体后皮质正中区域发出椎基神经,此神经通过椎基孔伴随营养血管走形进入椎体,大致聚集在椎体中心的位置,然后发出分支到终板,为椎体终板提供感觉神经支配。KIM 等^[21]和 DUDLI 等^[22]在研究中发现伴 Modic 病变椎体终板的组织学图像显示终板神经纤维明显增生。此外,部分学者还研究了伴有慢性背痛的手术患者的软骨终板、骨性终板和底层松质骨,发现终板软骨损伤缺陷处痛觉感受器密度增多,且血管增殖的终板界面,存在 P 物质免疫反应^[23-24]。

后来相关研究进一步发现了相似的结果,在伴 Modic 改变的腰背部疼痛患者中,术中获得的椎体终板样本显示,有更多的新生血管和感觉神经增殖,P 物质、降钙素基因相关肽、蛋白质基因产物和肿瘤坏死因子等的表达水平增高,这些因子在受损的椎体终板内具有伤害性感受作用^[17,25-27]。

伴 Modic 改变的症状性腰痛患者,椎体终板变性的解剖和病理性改变的研究推动了一种治疗慢性腰痛的新疗法的发展。椎骨内椎基底神经射频消融术(intraosseous basivertebral nerve ablation, IBVNA),通过靶向直接热消融的手段,导致相应椎体椎基神经发生变性。阻断椎基神经(basivertebral nerve, BVN)的伤害性信号传导,从而减轻由退化的椎体终板引起的腰痛症状^[12,28]。

1.2 手术方式

首先,由 MRI 诊断并鉴别出 Modic I 型和 II 型变化的慢性腰痛患者。术前对需要治疗的椎体进行

标测,以确定 BVN 分支点的相对位置。射频靶点通常在椎体前后距离的 40%~60%或 30%~50%^[29-30]。因 Modic 改变多发生于 L₃-S₁ 椎体,故骨内椎基神经射频消融术治疗的椎体多为下腰椎和骶椎^[12]。在采用 IBVNA 治疗伴 Modic 改变的慢性腰痛患者中,发现 72.77% 的患者进行了 S₁ 椎体的射频消融。S₁ 与腰椎椎体在解剖学和功能上是有差异的,目前国内外仅有的 1 项单个骶椎椎体的尸体解剖研究报道发现 S₁ 椎体并没有椎基静脉孔^[20]。缺乏 S₁ 椎基静脉孔详细的解剖信息,所以,S₁ 射频靶点选择其实存在一定的争议。LI 等^[31]曾与 FISCHGRUND 等^[32]外国学者探讨过 S₁ 椎体的靶点位置。LI 等^[31]认为 S₁ 神经支配来自从椎体侧方穿透的骶前神经分支,而不是椎基神经,为达到更高的手术成功率,S₁ 椎体的靶点位置应靠近椎体侧缘而不是后缘。但 FISCHGRUND 等^[32]坚持认为 S₁ 椎体的射频消融的靶点位置应是后缘,因此 S₁ 的具体手术消融位置值得我们去继续探究。

其次,患者俯卧或侧卧在手术床上,在麻醉生效后,使用经椎弓根输送系统。该系统由 1 套接入仪器、直套管和弯曲套管、1 个传递热能的双极射频探测器和一个射频发生器组成^[33]。然后,C 形臂 X 线透视或 CT 引导标记并确认目标水平和进入位置,进行单侧经椎弓根穿刺,在荧光透视引导下,导入套管穿过椎弓根,直到套管刚刚突破椎体后壁,导入套管与 1 个较小的塑料套管/弯曲的镍钛合金测针组件交换,这有助于创造一个从后壁到 BVN 终端的预定目标的弯曲路径,椎基神经大概集中在椎体中心附近。最后,取下弯曲的镍钛合金测针,建立大约 10 mm 的边缘以确保后部结构的安全,在 BVN 终点处引入射频探头。双极射频探针被激活后,顶端的温度保持在 85 ℃,持续 15 min,可在椎体内形成约 1 cm 的球形病变。确认创建了射频损伤后,就移除探头和套管。对穿刺术口进行无菌敷料加压包扎。手术后 48 h 内重新评估生命体征和神经功能,指导患者进行术后康复锻炼^[21,30,33]。

2 手术适应证及纳入标准

相关研究^[26,29-30,34-35]表明骨内椎基神经射频消融术的手术适应证大致包括:(1)骨骼成熟的慢性(≥6 个月)孤立性腰椎背痛患者,对至少 6 个月的非手术治疗无反应。(2)椎体 Modic I 型或 II 型改变。(3)最低 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)评分为 30 分(50 分)。(4)最小视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)为 4 分(10 分)。相对手术禁忌证包括:(1)神经根性疼痛(沿皮节分布在下肢的任何疼痛,引起疼痛、麻木或虚弱/沉重)。(2)有症状的椎管狭窄(经影像学证实

并存在神经源性跛行)。(3)椎间盘挤压或突出物>5 mm。(4)脊椎滑脱>2 mm。(5)严重的全身器质性病变无法耐受手术。

此外,部分研究还排除了有脊柱手术史和使用阿片类药物的受试者,但部分研究则包括了这些^[34]。为了更加精准的筛选合适的手术患者,BOODY 等^[36]进行了疼痛部位与节段对接受 IBVNA 治疗的疗效分析,结果显示中轴线的疼痛患者在疼痛缓解和功能恢复上效果更佳。MCCORMICK 等^[37]对成功接受 IBVNA 的患者进行了人口流行病学调查研究,但遗憾的是该分析没有发现任何人口统计学或临床特征可以显著地增加或减少 IBVNA 治疗成功的概率。这两项研究为进一步选择合适的治疗患者提供了新思路。总而言之,入选与排除标准需要根据研究者的实际研究需要,但其共同的目标是使该技术更好地应用于临床实践中。

3 临床疗效

3.1 椎基神经射频消融术治疗 Modic 改变症状性腰痛的有效性

3.1.1 椎基神经射频消融术治疗 Modic 改变症状性腰痛的疗效体现在疼痛变化及止痛药物的使用量方面 BECKER 等^[38]在 2017 年首次发表了一项涉及 16 例患者的研究,患者在 IBVNA 术后疼痛得到明显的改善,且该疼痛缓解可达 3 个月。但是这项研究缺乏对照组且病例数较少,结果可能存在一定偏差。为了进一步验证该技术的疗效,FISCHGRUND 等^[29,32-33]进行了多中心前瞻性研究。发现术后 3 个月,IBVNA 治疗组和假手术组之间疼痛未见明显改善;在 6、12 和 24 个月时,IBVNA 组的疼痛得到改善;在完成 5 年随访时,88% 的患者实现了良好的疼痛缓解。而且术后的 5 年中,极少数的患者再次接受有侵入性的脊柱疼痛干预。同时在 12 个月的随访中,46.4% 的患者完全停止使用阿片类药物,另外 14.3% 的患者减少了阿片类药物的使用。在完成 5 年最终随访的患者中有 34 例在治疗前就开始服用了阿片类药物,完成随访后其中 23.5% 还在继续增加使用阿片类药物,11.8% 报道每周服用阿片类药物少于 1 次,65% 的患者已经完全停止使用阿片类药物。这表明在 IBVNA 术后,大部分患者的疼痛可基本得到控制,表明 IBVNA 是一项治疗腰背部疼痛的有效新技术。

KHALIL 等^[30]比较了 IBVNA 与椎源性疼痛标准治疗(包括:手法、针灸、口服止痛药物和脊髓注射等)的有效性。在 3 个月时,IBVNA 治疗组的治疗效果更佳。与 SMUCK 等^[39]的研究相似,在 IBVNA 术后 3 和 12 个月时,所有患者 VAS 结果均保持疼痛

改善。12 个月随访时 VAS 平均改善 3.8 ± 2.7 ,有 64% 的 IBVNA 组患者报道 VAS 降低超过一半,44% 降低超过 3/4,29% 报告疼痛完全缓解。同时,在前 6 个月行标准治疗后自愿选择 IBVNA 手术的患者疼痛改善也很显著。但遗憾的是,KHALIL 等^[30]和 SMUCK 等^[39]报道说,IBVNA 组和标准治疗组两组的止痛类药物使用并未发生明显变化。DE VIVO 等^[35]报道,在 12 个月的随访中,VAS 明显改善,平均下降 4.3 分。96.4% 的患者报告了 VAS 下降至少 3.0 分。这与 KIM 等^[26]和 MACADAEG 等^[40]的研究结果相似。表明 IBVNA 术后疼痛在不同时间段疼痛可得到不同程度的改善。与以前的研究不同,为了使研究人群能更加贴近广大普通患者群体,TRUUMES 等^[34]研究纳入标准包括无症状椎管狭窄、服用缓释阿片类药物以及有腰椎手术史的患者,患者的术前平均 VAS 为 6.36 ± 1.02 ,在术后 3、6 个月随访时分别改善至 2.86 ± 2.25 和 1.42 ± 1.77 ,而且 75% 患者的 VAS 改善 2 分以上。同时指出,接受 IBVNA 的患者中有 25% 在术前使用阿片类药物。其中,50% 在术后 3 个月的随访中停止使用阿片类药物,并且没有人增加剂量或需要新的阿片类药物。本研究样本虽然很小,但确实接近了更普遍的人群。

在止痛药物的使用上,MARKMAN 等^[41]对 77 例患者进行前瞻性研究表明,在 BVN 射频消融治疗后的 12 个月随访中,与对照组相比,治疗组中 60% 的患者减少了阿片类药物的使用。KORECKIJ 等^[42]在 2021 年进行的前瞻性、多中心、随机临床研究表明,在 24 个月的随访中,62% 的受试者减少了阿片类药物使用率。SAYED 等^[12]进行系统分析表明,IBVNA 可减少患者的阿片类药物使用量,且阿片类药物使用增加也并不会使患者功能或疼痛得到改善。

虽然目前的研究数据有限,但目前证据表明 IBVNA 治疗后,患者的腰背部疼痛在 3 个月内甚至更长时间疗效是明确的,且成功的 IBVNA 可能会使止痛药物的使用下降。但适当放宽排除标准,使入组人群更加贴近广大人群的研究后续需要我们去继续探究。

3.1.2 椎基神经射频消融术治疗 Modic 改变症状性腰痛的疗效体现在患者腰背部功能和社会心理功能方面 BECKER 等^[38]研究得出,术后患者功能改善在第 3、6 和 12 个月持续保持,总体患者治疗有效率高达 81%。同时患者的 SF-36 评分也较治疗前明显改善。DE VIVO 等^[35]报道了相似的研究结果,分别记录了 3 和 12 个月随访时 ODI 评分有所改善。在 12 个月的随访里,ODI 平均改善 32.4 分,大约 96% 的患者实现了临床症状改善。这与 KHALIL 等^[30]和

SMUCK 等^[39]的研究相似,与标准治疗组相比,IBVNA 组患者术后 3 个月的随访里 ODI 改善率分别可达 75% 和 70% 且 SF-36 和 EQ-5D-5L 评分效果也更佳。

FISCHGRUND 等^[29,32-33]长期多中心前瞻性的研究也对其疗效进行了进一步验证,3 个月内,ODI 平均下降 > 20 分,同时 IBVNA 在治疗后 2 年的随访中显示出治疗组在 ODI 中的持续临床益处,平均改善了 53.7%,并且在 5 年的随访研究中发现 ODI 仍然可有着持续改善,高达 65% 的患者恢复到之前的活动水平,77% 的患者的 ODI 评分改善 15 分。表明 IBVNA 对 I 型或 II 型 Modic 症状性腰痛患者是一种可靠、持久的治疗方法。同时研究结果表明,在 SF-36 随访的 3 和 6 个月时无明显变化,在 1 年的随访里心理健康评分得到改善,但遗憾的是身体功能评分未见明显好转。但惊喜的是在更长期的 2 年随访里身体功能评分得到改善。MACADAEG 等^[40]进一步研究表明,在术后第 3、6、9 和 12 个月的 ODI 结果,在每个时间点都报告了患者的功能在逐步持续改善;在术后随访的 12 个月,有 88.89% 的患者 ODI 改善 ≥ 15 分,84.44% 的患者 ODI 改善 ≥ 20 分;同时,在 IBVNA 后 12 个月,使用 ≥ 15 分 ODI 和 ≥ 2 分 VAS 改善的评价标准,证明了 77.8% 的综合功能和疼痛改善率;使用 ≥ 20 分 ODI 和 ≥ 2 分 VAS 的评价标准,观察到 75.6% 的改善率;此外,在随访后 12 个月后,患者 SF-36 总分提高了 26.27 ± 17.19 。EQ-5D-5L 评分提高了 0.22 ± 0.15 ;同时令人兴奋的是,还报道了高度的患者满意度,84.4% 的人认为其病情有所改善,89% 的患者表示将愿意再次进行椎基神经射频消融术。

与前人的研究有所不同,TRUUMES 等^[34]于 2020 年对 28 例在术前接受过物理治疗、注射治疗及椎间盘切除术的患者进行研究,并且允许他们术后继续接受非手术干预治疗;结果显示治疗组 ODI 改善为 30.1 分,治疗效果良好;同时,93% 和 75% 的患者在 3 个月后 ODI 分别有 >10 分和 >20 分的改善;在术后随访的 3 个月里患者 EQ-5D-5L 评分平均改善了 15.79 分和 SF-36 评分平均改善了 4.23 分;此外,大约 80% 的受试者认为 IBVNA 治疗成功地改善了疼痛和功能,并对治疗效果感到满意。

目前的研究^[29,32-34,40]报告显示在治疗后 3 个月内大部分腰背部功能、社会心理功能和生活质量都有进一步改善,部分患者改善持续时间更长具有良好的社会效益及患者满意度。因此,IBVNA 是减少症状性 Modic 改变患者残疾和改善功能的有效干预措施。

3.2 椎基神经射频消融术治疗 Modic 改变症状性腰痛的安全性及相关并发症

IBVNA 是一种较为安全的微创手术,但其在治疗的过程中也发生了相关不良事件,特别值得研究者去关注,以便更好地避免和处理相关并发症。

在目前的的研究,最常见的不良事件主要为切口疼痛及术后下肢疼痛^[30,34,38]。其余的还包括臀部疼痛^[38],椎弓根破裂^[40],神经根损伤、新发背部感觉异常性疼痛^[33],感染、尿潴留、恶心、角膜损伤、皮疹等^[39]。现报道较严重的并发症是穿刺定位错误损伤血管致腹膜后出血和椎体压缩性骨折^[33]。对于术后常出现的切开疼痛或新发腰腿部疼痛可通过卧床休息、短期口服止痛药物或者物理治疗等措施,并在治疗后 3 d 得到缓解^[21,38];对于术后神经根性疼痛及腿部的感觉异常予止痛、营养神经加强功能锻炼治疗后并在后期 3 个月的随访中得到缓解^[30]。对于术后切口感染,予加强伤口换药及理疗,嘱患者保持伤口干燥避免长时间挤压等可得到治愈^[39]。对术后恶心、尿潴留、角膜损伤等,大多是由于术中麻醉及插尿管引起,术后均可得到完全治愈^[40]。报道的最严重不良事件 1 例骨质疏松症患者的椎体压缩性骨折,以及 1 例由于椎弓根通路错误导致的腹膜后出血,文中未提及具体治疗方式,但报道经过妥善处理患者均得到明显好转^[33]。

在 IBVNA 术后 6 周和 6 个月进行的 MRI 检查没有显示任何椎间盘加速退变、椎体缺血性坏死或脊髓异常的证据^[33]。鉴于骨内椎基神经射频消融术对慢性腰痛患者的良好疗效及安全性,国际脊柱外科手术协会也推荐采用 IBVNA 治疗 I 型或 II 型 Modic 改变引起的慢性腰痛的患者^[28]。根据现有的研究,当选择合适的患者和手术技术时,大多数患者似乎可以安全且耐受良好地接受 IBVNA。且大部分患者均可得到妥善地治疗并恢复。

4 展望

骨内椎基神经射频消融术作为一项新的治疗 Modic 改变症状性腰痛的微创技术,其手术原理明确、手术操作过程简单、并发症及预防相对可控、经济效益尚可。目前已在国内外临床研究中取得了较好的治疗效果。但其研究人群主要集中在欧美及北美人群,迄今为止还未发现针对亚洲人群的研究。大多数研究纳入研究对象适应证较为严格,且研究对象大多数受过大学教育、有稳定的工作,可能造成一定的研究偏倚。在今后的研究中应适当放宽纳入研究对象的适应证,扩大研究对象的普遍性特别是针对经济、文化、生活方式差异较大的地区,以便使该手术干预治疗的适应证可以更好地推广到更大的人群

中。同时,大多数现有的关于 IBVNA 的研究都得到了行业资助支持。在未来的研究中应进行相应的克服。此外,IBVNA 的长期疗效如何还有待进一步研究,对手术中更加确切的相关并发症的探索及预防,还需要进一步多中心和高质量的研究来进行探寻。

参考文献

- [1] HARTVIGSEN J, HANCOCK M J, KONGSTED A, et al. What low back pain is and why we need to pay attention[J]. *Lancet*, 2018, 391(10137):2356–2367.
- [2] HOY D, BAIN C, WILLIAMS G, et al. A systematic review of the global prevalence of low back pain[J]. *Arthritis Rheum*, 2012, 64(6):2028–2037.
- [3] BRAZILL J M, BEEVE A T, CRAFT C S, et al. Nerves in bone: evolving concepts in pain and anabolism[J]. *J Bone Miner Res*, 2019, 34(8):1393–1406.
- [4] TIEPPO FRANCO V, SHERWOOD D, TWOHEY E, et al. Developments in minimally invasive surgical options for vertebral pain: basivertebral nerve ablation—a narrative review[J]. *J Pain Res*, 2021, 14:1887–1907.
- [5] LOTZ J C, FIELDS A J, LIEBENBERG E C. The role of the vertebral end plate in low back pain[J]. *Global Spine J*, 2013, 3(3):153–164.
- [6] MODIC M T, STEINBERG P M, ROSS J S, et al. Degenerative disk disease: assessment of changes in vertebral body marrow with MR imaging[J]. *Radiology*, 1988, 166(1 Pt 1):193–199.
- [7] PENG B G, CHEN J D, KUANG Z D, et al. Diagnosis and surgical treatment of back pain originating from endplate[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(7):1035–1040.
- [8] BRINJIKJI W, DIEHN F E, JARVIK J G, et al. MRI findings of disc degeneration are more prevalent in adults with low back pain than in asymptomatic controls: a systematic review and meta-analysis[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2015, 36(12):2394–2399.
- [9] HERLIN C, KJAER P, ESPELAND A, et al. Modic changes—their associations with low back pain and activity limitation: a systematic literature review and meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2018, 13(8):e0200677.
- [10] EKSI M S, ÖZCAN-EKSI E E, ORHUN Ö, et al. Proposal for a new scoring system for spinal degeneration: Mo-Fi-Disc[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2020, 198:106120.
- [11] GERSING A S, WOERTLER K, JUNGSMANN P M, et al. Vertebrae, vertebral end plates, and disks: concepts and specific pathologies[J]. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2019, 23(5):489–496.
- [12] SAYED D, NAIDU R K, PATEL K V, et al. Best practice guidelines on the diagnosis and treatment of vertebrogenic pain with basivertebral nerve ablation from the American society of pain and neuroscience[J]. *J Pain Res*, 2022, 15:2801–2819.
- [13] GREENWOOD J, HURLEY M, MCGREGOR A, et al. A qualitative evaluation of participants experiences of living with back pain, lumbar fusion surgery, and post-operative rehabilitation[J]. *Pilot Feasibility Stud*, 2022, 8(1):91.
- [14] FURUNES H, STORHEIM K, BROX J I, et al. Total disc replacement versus multidisciplinary rehabilitation in patients with chronic low back pain and degenerative discs: 8-year follow-up of a randomized controlled multicenter trial[J]. *Spine J*, 2017, 17(10):1480–1488.
- [15] LUOMA K, VEHMAS T, KERTTULA L, et al. Chronic low back pain in relation to Modic changes, bony endplate lesions, and disc degeneration in a prospective MRI study[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(9):2873–2881.
- [16] MCDONNELL E E, BUCKLEY C T. Consolidating and re-evaluating the human disc nutrient microenvironment[J]. *JOR Spine*, 2022, 5(1):e1192.
- [17] BAILEY J F, LIEBENBERG E, DEGMETICH S, et al. Innervation patterns of PGP 9.5-positive nerve fibers within the human lumbar vertebra[J]. *J Anat*, 2011, 218(3):263–270.
- [18] UDBY P M, SAMARTZIS D, CARREON L Y, et al. A definition and clinical grading of Modic changes[J]. *J Orthop Res*, 2022, 40(2):301–307.
- [19] KJAER P, KORSHOLM L, BENDIX T, et al. Modic changes and their associations with clinical findings[J]. *Eur Spine J*, 2006, 15(9):1312–1319.
- [20] ANTONACCI M D, MODY D R, HEGGENESS M H. Innervation of the human vertebral body: a histologic study[J]. *J Spinal Disord*, 1998, 11(6):526–531.
- [21] KIM H S, ADSUL N, YUDOYONO F, et al. Transforaminal epiduroscopic basivertebral nerve laser ablation for chronic low back pain associated with modic changes: a preliminary open-label study[J]. *Pain Res Manag*, 2018, 2018:6857983.
- [22] DUDLI S, FIELDS A J, SAMARTZIS D, et al. Pathobiology of Modic changes[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(11):3723–3734.
- [23] CONGER A, SMUCK M, TRUUMES E, et al. Vertebrogenic pain: a paradigm shift in diagnosis and treatment of axial low back pain[J]. *Pain Med*, 2022, 23(Suppl 2):S63–S71.
- [24] FRAS C, KRAVETZ P, MODY D R, et al. Substance P-containing nerves within the human vertebral body. an immunohistochemical study of the basivertebral nerve[J]. *Spine J*, 2003, 3(1):63–67.
- [25] OHTORI S, INOUE G, ITO T, et al. Tumor necrosis factor-immunoreactive cells and PGP 9.5-immunoreactive nerve fibers in vertebral endplates of patients with discogenic low back pain and Modic type 1 or type 2 changes on MRI[J]. *Spine*, 2006, 31(9):1026–1031.
- [26] KIM H S, WU P H, JANG I T. Lumbar degenerative disease part 1: anatomy and pathophysiology of intervertebral discogenic pain and radiofrequency ablation of basivertebral and sinuvertebral nerve treatment for chronic discogenic back pain: a prospective case series and review of literature[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(4):1483.
- [27] FIELDS A J, LIEBENBERG E C, LOTZ J C. Innervation of pathologies in the lumbar vertebral end plate and intervertebral disc[J]. *Spine J*, 2014, 14(3):513–521.
- [28] LORIO M, CLERK-LAMALICE O, BEALL D P, et al. International society for the advancement of spine surgery guideline—intraosseous ablation of the basivertebral nerve for the relief of chronic low back pain[J]. *Int J Spine Surg*, 2020, 14(1):18–25.
- [29] FISCHGRUND J S, RHYNE A, MACADAEG K, et al. Long-term outcomes following intraosseous basivertebral nerve ablation for the treatment of chronic low back pain: 5-year treatment arm results from a prospective randomized double-blind sham-controlled multi-center study[J]. *Eur Spine J*, 2020, 29(8):1925–1934.
- [30] KHALIL J G, SMUCK M, KORECKIJ T, et al. A prospective, randomized, multicenter study of intraosseous basivertebral nerve ab-

- lation for the treatment of chronic low back pain[J]. *Spine J*, 2019, 19(10):1620-1632.
- [31] LI Y, FENG X, TAN J, et al. Letter to the editor concerning "Intraosseous basivertebral nerve ablation for the treatment of chronic low back pain: a prospective randomized double-blind sham-controlled multi-center study"[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(9):2223.
- [32] FISCHGRUND J S, RHYNE A, FRANKE J, et al. Intraosseous basivertebral nerve ablation for the treatment of chronic low back pain: 2-year results from a prospective randomized double-blind sham-controlled multicenter study[J]. *Int J Spine Surg*, 2019, 13(2):110-119.
- [33] FISCHGRUND J S, RHYNE A, FRANKE J, et al. Intraosseous basivertebral nerve ablation for the treatment of chronic low back pain: a prospective randomized double-blind sham-controlled multi-center study[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(5):1146-1156.
- [34] TRUUMEEES E, MACADAEG K, PENNA E, et al. A prospective, open-label, single-arm, multi-center study of intraosseous basivertebral nerve ablation for the treatment of chronic low back pain[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(7):1594-1602.
- [35] DE VIVO A E, D'AGOSTINO G, D'ANNA G, et al. Intra-osseous basivertebral nerve radiofrequency ablation (BVA) for the treatment of vertebrogenic chronic low back pain[J]. *Neuroradiology*, 2021, 63(5):809-815.
- [36] BOODY B S, SPERRY B P, HARPER K, et al. The relationship between patient demographic and clinical characteristics and successful treatment outcomes after basivertebral nerve radiofrequency ablation: a pooled cohort study of three prospective clinical trials[J]. *Pain Med*, 2022, 23(Suppl 2):S2-S13.
- [37] MCCORMICK Z L, SPERRY B P, BOODY B S, et al. Pain location and exacerbating activities associated with treatment success following basivertebral nerve ablation: an aggregated cohort study of multicenter prospective clinical trial data[J]. *Pain Med*, 2022, 23(Suppl 2):S14-S33.
- [38] BECKER S, HADJIPAVLOU A, HEGGENESS M H. Ablation of the basivertebral nerve for treatment of back pain: a clinical study[J]. *Spine J*, 2017, 17(2):218-223.
- [39] SMUCK M, KHALIL J, BARRETTE K, et al. Prospective, randomized, multicenter study of intraosseous basivertebral nerve ablation for the treatment of chronic low back pain: 12-month results[J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2021, 46(8):683-693.
- [40] MACADAEG K, TRUUMEEES E, BOODY B, et al. A prospective, single arm study of intraosseous basivertebral nerve ablation for the treatment of chronic low back pain: 12-month results[J]. *N Am Spine Soc J*, 2020, 3:100030.
- [41] MARKMAN J D, RHYNE A L, SASSO R C, et al. Association between opioid use and patient-reported outcomes in a randomized trial evaluating basivertebral nerve ablation for the relief of chronic low back pain[J]. *Neurosurgery*, 2020, 86(3):343-347.
- [42] KORECKIJ T, KREINER S, KHALIL J G, et al. Prospective, randomized, multicenter study of intraosseous basivertebral nerve ablation for the treatment of chronic low back pain: 24-month treatment arm results[J]. *N Am Spine Soc J*, 2021, 8:100089.

(收稿日期:2022-12-09 本文编辑:王宏)