

射频介入治疗腰椎间盘突出症的应用进展

杨永宏¹, 姜益常^{2*}

¹黑龙江中医药大学研究生院, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江中医药大学附属第一医院骨伤三科, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2026年7月13日; 录用日期: 2026年8月6日; 发布日期: 2026年8月17日

摘要

腰椎间盘突出症是以腰痛、活动受限、下肢放射性疼痛、麻木等为主要症状的综合征。对于这一临床常见病, 介于保守和手术治疗之间的微创介入技术愈发获得认可。射频技术作为其中之一, 已经在推广应用的过程中从多个角度有所发展。本文就其射频模式、穿刺技术、引导技术、联合疗法等进行综述, 旨在为更深入、更创新地使用射频治疗腰椎间盘突出症提供参考及依据。

关键词

腰椎间盘突出症, 射频热凝, 水冷射频, 脉冲射频, 低温等离子, 弯针, 双极, 引导

Advances in the Application of Radiofrequency Interventional Therapy for Lumbar Disc Herniation

Yonghong Yang¹, Yichang Jiang^{2*}

¹Graduate School of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

²The Third Orthopedic Department, First Affiliated Hospital, Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

Received: July 13, 2026; accepted: August 6, 2026; published: August 17, 2026

Abstract

Lumbar disc herniation is a syndrome primarily characterized by low back pain, limited mobility, radiating pain in the lower extremities, and numbness. For this common clinical condition, minimally invasive interventional techniques, which lie between conservative and surgical treatments,

*通讯作者。

文章引用: 杨永宏, 姜益常. 射频介入治疗腰椎间盘突出症的应用进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(8): 1190-1196.
DOI: 10.12677/acm.2026.1682894

have increasingly gained recognition. As one of these techniques, radiofrequency technology has evolved in various aspects during its promotion and application. This article reviews its radiofrequency modes, puncture techniques, guidance techniques, and combination therapies, aiming to provide a reference and basis for a deeper and more innovative use of radiofrequency in the treatment of lumbar disc herniation.

Keywords

Lumbar Disc Herniation, Radiofrequency Thermocoagulation, Water-Cooled Radiofrequency, Pulsed Radiofrequency, Coblation, Curved Needle, Bipolar, Guidance

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)是由椎间盘退行性变, 纤维环破裂, 髓核突出, 压迫或刺激相邻脊神经而引起的以腰痛、活动受限、下肢放射性疼痛、麻木等为主要症状的综合征。作为临床常见病, 其好发于成年, 治疗方式分保守和手术两类[1]。保守治疗如休息、物理及药物治疗, 多只能短期缓解症状且疗程较长。手术则以经皮椎间孔镜髓核摘除术(PTED)为主, 虽疗效显著, 但会伴随较大损伤风险及复发可能。所以, 介于传统保守治疗和手术治疗之间的微创介入疗法逐渐得到广大患者及医师的认可, 现对微创介入治疗 LDH 当中的射频技术综述如下。

2. 射频热凝与水冷射频

2.1. 射频热凝

射频热凝(radiofrequency thermocoagulation, RFT)术是一项历史悠久的介入技术, 在国内最早被用于治疗神经病理性疼痛。随着技术的发展, 其应用领域越发广泛, 目前已经较多地被疼痛科、心病科医师使用。

RFT 将电极针穿刺到病变椎间盘的髓核中, 针头工作端制造出射频电场使局部分子共振出现热效应。一方面, 当该热效应加热到一定温度时(65℃以上, 理想状态为 70℃), 髓核中部分胶原纤维蛋白会因维持其结构的共价键断裂而变性、凝固。盘内压下降, 髓核向中心收缩并减轻其对神经造成的压迫[2] [3]。这种减压作用能直接缓解神经根损伤并减少局部无菌性炎症反应, 从而抑制被认为是 LDH 疼痛相关因素的 TNF- α 、IL-1 β 等炎症因子的释放, 为神经根自我修复创造条件; 同时, 减压还能间接调节机体免疫反应, 以进一步减少上述因子的分泌[4]。另一方面, 上述热效应达到的高温不仅局限在中心, 其外围余热还能使后环状纤维被加热到足以阻断其内伤害感受器神经末梢的温度, 从而减轻疼痛[5]。值得注意的是, Wang [3]的一项为阐明热处理对椎间盘生物力学和组织形态学改变的研究显示, 加热后髓核圆柱形周长会明显减少, 但终板间距并不会。这可能是因为髓核中的胶原纤维主要分布在与终板平行的平面上, 而非纵向上, 所以热效应对髓核在纵向上的影响并不大。

RFT 不仅具有显著的微创性, 可尽量保护脊柱骨性结构不受破坏。它还有较高的准确性和安全性, 其温度可控且有安全测试, 可通过电阻抗和电刺激检测辨别神经性质及神经到针尖的距离。但是, 该技术也有一些不足。其作用范围的局限可能会使减压不够充分, 易致突出物不能完全回纳甚或“反跳”[4]。

2.2. 水冷射频

水冷射频(water-cooled radiofrequency, WC-RF)是对 RFT 的技术原理延伸, 这体现了技术进步的必然趋势。它在国内早先多被用于肿瘤消融治疗, 随后逐步得到推广。

WC-RF 的基础原理与 RFT 相似, 均通过非绝缘的工作端产生热效应来进行治疗, 但其创新地在射频电极外周增加了水循环通路, 这一设计使常温生理盐水能经泵的驱动在电极外周循环冷却散热, 这显著提升了治疗安全性与效果。一方面, 既往研究显示, RFT 长时间加热易致局部碳化, 阻碍能量传递, 限制损毁扩展。相对而言, WC-RF 则通过持续冷却来确保电极-组织界面维持在较低温水平(低于 RFT 的 70℃), 以防碳化损伤。这使能量可以更均匀地传递至周围并形成球形损毁区(有别于 RFT 的椭圆形损毁)[6], 这还使能量可以更持续、更多地进行传输并不断累积直至在局部达到足够的温度, 以产生相较于 RFT 而言更大范围的髓核组织变性和更彻底的髓核回缩减压[6]。另一方面, WC-RF 也能确保不低于 45℃ 的热能作用于后环状纤维以有效毁损伤害感受器[7]。该技术相较于 RFT 的不足主要是设备更复杂导致的成本更高、维护保养难度更大以及学习曲线更长。

3. 标准脉冲与调压脉冲

脉冲射频(pulsed radiofrequency, PRF)由 Sluijter 于 1997 年提出, 随后被迅速推广, 在我国其早期主要被用于神经病理性疼痛的治疗。

相较于 RFT 通过持续热效应将温度线性升高, 来实现损毁性治疗。PRF 采用了不同的策略, 其核心机制在于电磁场效应对神经传导通路的调控作用。其电流呈脉冲式间断输出, 静止期散热而不产热, 这使温度以阶梯式上升且还远低于神经组织不可逆损伤的阈值, 这就避免了一系列副作用。这种低温特性确保 PRF 作为非破坏性神经调节技术不会对神经细胞形态产生明显改变, 但是其通过电场对细胞功能造成影响是确切的。具体而言, PRF 既可以通过调节神经递质释放, 改变突触后电位, 降低神经元兴奋性, 阻断伤害性信号传导, 来减轻患者的疼痛敏感; 同时也能激活脊髓疼痛抑制系统, 调控中枢神经的疼痛介质水平[2]。

除了对神经更可逆的影响以外, PRF 治疗 LDH 时的主要作用靶点是椎间孔区域受压神经根附近, 这就避免了穿刺进入髓核的复杂与风险[2]。但是由于它并不直接解除神经的物理性受压, 所以其调控缓解神经痛的治疗可以在一定程度上被视为“治标不治本”。此外, 还有研究指出单次 PRF 往往只产生几小时的轻微镇痛, 需多次治疗才能维持长期效果[8], 所以其更多是作为一种辅助手段。

调压脉冲在标准脉冲的基础上发展而来。临床应用手动调压模式, 在确保患者安全与舒适的前提下, 提高射频电压以增强电场强度。这一增强过程精心处理了电磁场强、脉冲频率及作用区域温度之间的微妙平衡, 旨在寻求电场效应的最大化, 从而获取更好的疗效[9]。

4. 低温等离子射频

低温等离子射频(low-temperature plasma radiofrequency, LTP-RF)可以被视为广义射频技术中的特殊分支, 其主要通过对射频能量的精确控制, 将低温等离子体消融与高温热凝相结合来达到治疗目的。在我国, 它最早于上世纪末被用于耳鼻喉科的相关治疗。随后, 低温等离子髓核消融术(coblation nucleoplasty, CN)作为该技术在脊柱外科领域中的应用拓展于本世纪初被引入。

LTP-RF 通过等离子电极尖端制造射频电场来加热局部。在 40℃ 低温阶段时, 射频能量促使针头附近 NaCl 分解为 Na⁺ 和 Cl⁻, 这些离子在电场持续作用下获得动能并撞击髓核组织细胞间分子键, 导致后者断裂为小分子化合物及低分子量气体(如 H₂、O₂、CO₂ 等)排出体外。髓核经上述软化与气化后体积减小, 盘内压初步降低。随后, 环境温度被提升到 70℃, 此时的作用机制与 RFT 相似。高温会使髓核内的

胶原纤维变性、固缩, 这使盘内压进一步降低, 神经根、脊髓等受到的压迫性刺激得以缓解[10]。

前一阶段对髓核的预处理使后一阶段的热凝目的能更快达成, 这显著缩短了邻近正常组织高温暴露时间、减少了热损伤风险[11]。但是, CN 也有一些不足, 它并不具备像 RFT 一样充分利用外围余热来破坏后环状纤维内伤害感受器的能力。

临床处理 L5-S1 节段 LDH 时常遭遇高髂嵴骨性遮挡, 常规直针穿刺路径受限, 反复调整穿刺角度易增加神经根、血管误伤概率, 术者可选用各类改良弯针器械规避骨性阻挡, 该类弯针同样可适配水冷射频、低温等离子射频等全部盘内射频操作, 仅需微调针尖曲度即可直达髓核靶点, 搭配 CT 三维引导可清晰分辨髂骨与神经根解剖层次, 减少透视辐射, 优化穿刺路径。

5. 射频介入治疗的患者选择

不同影像学特征的 LDH 患者适配射频方案存在明确差异, 术前依靠磁共振影像评估椎间盘退变程度、突出形态、纤维环完整性, 是实现个体化射频治疗、改善远期预后的核心环节。Modic 改变可直观反映终板骨髓炎退变状态, Modic I 型终板水肿伴明显腰痛的患者, 优先选择脉冲射频神经根调节, 同步配合盘内消融减轻髓核刺激; Modic II、III 型终板脂肪化、骨质硬化, 椎间盘整体退变程度重, 单纯射频消融减压效果有限, 多推荐射频联合臭氧、神经阻滞等复合方案。纤维环后方高信号区提示纤维环存在微小撕裂、局部炎性渗出, 此类患者除盘内髓核消融外, 需利用射频余热对纤维环破损区域进行温和热疗, 阻断撕裂处新生痛觉神经末梢; 若纤维环完全破裂、游离髓核脱出至椎管内, 各类射频消融均无法实现充分减压, 不属于射频介入适用人群。突出物尺寸与形态同样影响方案选择, 膨出型、小型包容性突出髓核未突破纤维环, RFT、水冷射频、低温等离子均可单独开展消融; 中等大小包容性突出优先选用水冷射频扩大消融范围; 侧方突出压迫椎间孔神经根, 调压脉冲射频可直接作用于神经根靶点, 无需深入髓核操作。除此之外, 椎间盘高度丢失超过 1/2、合并椎管重度狭窄、腰椎不稳的患者, 射频仅能短期缓解疼痛, 远期复发概率偏高, 术前需充分告知患者预后局限。

6. 单极与双极射频

前文介绍的几种射频, 它们的核心机制大多是髓核损毁减压, 可以说损毁区的大小是影响众多射频疗效的关键。因此, 扩大髓核消融体积一直是射频技术发展的重要追求之一。除了上文提到的 WC-RF 以外, 双极射频技术也是这一追求下的产物。

双极 RF 采用两根电极针从不同位置穿刺进入同一椎间盘开展治疗, 和单极 RF 一样, 双极 RF 通过工作尖端产生热效应。但在双极模式中, 电流会在两极之间传导, 形成一个闭合的高电流环路并同时加热两点, 一侧电极的热量会被另一侧挡回, 使热量集聚在极间。这会促成一个相较于普通单极 RF 更宽大的带状或哑铃形损毁区, 并由此取得更好的疗效[12]。

然而, 双极的设计也使其更复杂, 相较于单极损毁面积主要取决于电极口径、工作端长度、温度及持续时间, 双极 RF 在此基础上还受电极间距的影响[12][13]。Wondra 等[13]研究表明, 其余条件一致时, 双极 RF 可通过增大电极口径或工作端长度来扩大损毁。这一结论与既往诸多研究相符[12][14]。但在间距和损毁面积的联系上, 因不同实验的具体细节存在差异, 所以尚无一定的数据性结论。尽管如此, 我们仍可综合众多研究推断出随间距扩大, 损毁面积可能会经历一个先增大后减小的过程。具体而言, 当间距很小时, 非常接近的两极会导致电流环路较短而使损毁也相对集中。而后, 随距离增大, 闭合环路也逐渐增长并形成愈发大的损毁。但是, 当间距增大到某一值时, 损毁面积会达到顶峰。此后, 面积会因极间距的进一步增长而缩小, 直至连续的哑铃形损毁彻底断裂为两个独立的单极损毁。以上两处临界可以分别被视为间距的最佳值和极限值, Wondra 等[13]的实验认为在工作端长 10 mm 的情况下, 18 G、

20 G 和 22 G 电极的最佳值均为 8 mm, 而极限值则分别为 14 mm、12 mm 和 10 mm。这一结论与既往林建等的研究有一定出入, 这可能要归咎于不同的手术器材、实验模型和检测装置等。再考虑到以上研究均为离体实验, 林建等人的模型是蛋清; Wondra 的实验虽相较而言更详细、更全面, 但也只是以鸡胸肉为模型。在真实人体中, 体温、脂肪和肌肉等众多因素均会影响实际损毁大小。因此, 仍需继续深入研究。

另外, 既往实验表明, 在极限值内间距的增减不会对电极外周边缘的损毁宽度造成太大改变, 这表明该技术对周边正常组织仅产生有限影响; 且增加工作端错位间距同样可以实现损毁的扩大[14]。总而言之, 双极 RF 具有明确的优点, 它可以在安全的前提下扩大损毁, 从而使减压、回缩、解除压迫均更彻底, 更大的损毁边界还有可能促成环状纤维内更多的伤害感受器被消融; 其不足之处则是与 WC-RF 相似的成本更高以及操作难度更大等。

7. 入路与引导

在椎间盘行介入 RF 治疗时除了要选用合适的射频模式、穿刺针样式和规格外, 还需要在正确的手术体位下采用恰当的进针入路和导航引导来确保手术顺利完成。

就体位而言, 脊柱区域的介入通常在俯卧位下完成。但黄蘋[15]认为, 较之于常规俯卧位, 将患侧抬高约 30°的侧俯卧位是一种更好的选择。该体位不仅可以避免患者腹部受压、减少对呼吸和循环的干扰, 还能便于术者更精准、安全且快速的操作。侧俯卧位可以同时满足患者舒适和术者需求, 但鉴于其当前在脊柱介入中的临床应用案例较有限, 所以其优越性还待更深入的研究来证实。在入路的选择上, 如今安全三角入路已获得普遍认同。在此基础上朱永强等[11]提出为了更顺畅地抵达治疗靶点, 可考虑从突出的对侧皮肤刺入, 这样可以为调整针头前行路径提供更充裕的空间。

至于导航引导, 常采用的 C 臂 X 线或 CT 有辐射等弊端。对此, 医师们提出了多种改良方案。① 手机多维测绘: 传统引导下做介入, 常需从不同角度多次扫描来确定进针路线, 这一过程会使患者累积较多辐射。技艺娴熟的术者可以更快完成进针从而减少放射线的使用, 但是这需要丰富的穿刺经验。智能机器人辅助系统, 虽然也能有效提高穿刺效率, 但却更昂贵、更占地[16]。基于此, 部分术者尝试利用更方便的手机来辅助术中进针。韩福康等[16]在 LDH 的 RF 治疗中使用手机的测量软件, 经摄像头行角度测绘。并结合影像扫描结果, 从冠状面和水平面多维度确定了快速而精准的进针规划。最终实现了更快速的穿刺, 达到了减少射线扫描次数及时间的目的。但是, 手机辅助测绘也存在易受患者手术体位和测量者视角等因素影响的不足[17]。② MRI: 传统射线技术除了有辐射以外, 还存在软组织辨识度不足等问题。因此, 部分学者选择采用 MRI 来辅助穿刺, 其可清晰显示血管、神经、关节和骨骼, 从而更精准地指引穿刺针避开脊髓和神经等重要组织。MRI 是一种优良的引导手段, 但使用限制较多, 有心脏起搏器或体内有金属性内植物的患者均不能使用[15]。③ 孔镜: 无论是传统射线亦或 MRI, 经它们引导的介入操作实际仍无法直视, 因而难以完全避免神经根误伤等并发症, 且部分患者的疗效也并不确切。鉴于此, 有术者提出了兼具微创和可视化优点的椎间孔镜射频消融椎间盘成型术。李健等[5]对这一新的脊柱内镜技术进行了临床研究, 他们在 RF 初步处理后利用椎间孔镜观察椎间盘成型情况, 以此判断减压是否彻底, 若镜下发现无突出的髓核或纤维环即为减压充分的明确证据。该研究结果显示椎间孔镜 RF 是一项可靠的技术, 但笔者认为它的“性价比”尚待商榷。因为传统引导的介入具有显著的微创性, 创口通常仅为 0.7 mm, 术后仅需压迫数分钟即可有效止血[18]。而孔镜穿刺器材所造成的创口可达 0.7 cm, 这明显大于一般的射频穿刺针伤口。所以, 在行孔镜直视探查的情况下, 或许直接选择减压更彻底、疗效更明确、适应症更广的 PTED 是一种更“划算”的选择。

8. 联合治疗

本文已较详细介绍了椎间盘微创介入中的射频技术, 不同的射频模式兼具共性与特性, 临床实践中应根据其作用机制及患者具体情况, 制定个性化方案。此外, 还有一些其他微创介入方式, 如胶原酶溶解术、选择性神经阻滞术等。随着这些技术的进步及其在脊柱的逐渐使用, 近年来, 选择两种或以上的介入手术叠加治疗 LDH 备受关注, 已成为一个新发展趋势。例如董蕊等[19]采用 LTP-RF 联合臭氧注射治疗 LDH, 结果综合疗效明显优于单独使用其中任何一种治法。分析可能是由于 RF 在髓核内造成的损毁区促进了臭氧气体在盘内充分弥散, 增加了臭氧与髓核的接触, 实现了物理与化学协同溶核的扩大效应。总之, 采取联合疗法可以取长补短, 在提高单项介入有效率的同时, 还能减少临床并发症。

9. 总结与展望

腰椎间盘突出症在临床较常见, 非手术治疗是多数 LDH 的一线方案, 患者大多可从保守疗法中获益。但有证据表明, 早期微创介入在缓解疼痛和恢复功能方面更有优势[1]。本文已就其中的射频介入进行了较详细的阐述, 并简单介绍了它和其他微创治疗的联合应用。应该说, 射频技术虽适应症有限, 疗效易受纤维环状况影响, 多仅用于包容性突出——特别是膨出型, 但是其安全性高、创伤很小、疗效较好, 总体仍具较高应用价值。

但是, 该技术也还有一些机制或效应层面的细节有待学界统一意见。如关于高温对纤维环产生的影响, 就存在不同观点。Wang 指出当纤维环被加热至其蛋白变性温度($>65^{\circ}\text{C}$)时可导致其刚度降低进而导致椎间盘失稳[3]; 但另有研究者认为这样的高温能使破裂的纤维环变性、凝固, 甚至与髓核连成一体, 从而在一定程度上修补纤维环、增强盘后缘[16]。高温对髓核的影响也存在类似的情况, 除了通常认为的其可使髓核固缩以外; 另有观点表明, 高温可能因促使髓核脱水及降解蛋白多糖而加速退行性变(Bono 等, 2004)。上述分歧核心在于高温热刺激对椎间盘组织存在双向作用, 兼具治疗收益与远期退变风险, 现有离体、体外实验难以复刻人体真实生理环境, 后续可围绕梯度温控、热疗时长开展分层对照研究, 量化不同突出类型对应的安全热疗参数, 以此平衡消融减压获益与椎间盘退变风险, 统一现有争议结论, 为临床规范化热疗操作提供依据。

如本文所展示, 射频介入技术经过长期的应用已经在射频模式、穿刺针形态、射频规格、手术入路、介入引导和联合治疗等诸多方面进步迭代, 相信该技术还会在现有及更广泛领域内继续创新发展。未来, 医师将可以根据患者具体病情与经济状况等, 灵活选择搭配出最适合患者的介入手术组合方案。

参考文献

- [1] 腰椎间盘突出症诊疗中国疼痛专家共识[J]. 中国疼痛医学杂志, 2020, 26(1): 2-6.
- [2] 王平, 周鑫, 刘爱峰, 等. 靶点射频消融联合脉冲射频治疗腰椎间盘突出症的临床研究[J]. 中国疼痛医学杂志, 2019, 25(9): 699-702.
- [3] Wang, J.C., Kabo, J.M., Tsou, P.M., Halevi, L. and Shamie, A.N. (2005) The Effect of Uniform Heating on the Biomechanical Properties of the Intervertebral Disc in a Porcine Model. *The Spine Journal*, 5, 64-70.
<https://doi.org/10.1016/j.spinee.2004.10.047>
- [4] 朱峻松, 沈玉杰, 王宇, 等. 射频靶点热凝治疗腰椎间盘突出症对外周血中 $\text{TNF-}\alpha$ 和 $\text{IL-1}\beta$ 的影响[J]. 中国医药导报, 2016, 13(30): 87-90.
- [5] 李健, 路鹏飞. 射频消融技术治疗老年腰椎间盘突出症的康复评定及预后分析[J]. 科技导报, 2023, 41(23): 49-55.
- [6] Cobbs, A., Alas, G., Yadav, R., Mayeux, J., Eckmann, M.S., Provenzano, D.A., et al. (2024) Water-Circulating Probes Significantly Modify Lesion Length and Axon Damage in Cooled Radiofrequency Ablations When Compared with Similar-Sized Standard Radiofrequency Probes in Rats. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, 49, 448-454.
<https://doi.org/10.1136/rapm-2023-104554>
- [7] Desai, M.J., Ollerenshaw, J., Harrison, R., et al. (2015) Intervertebral Disc Temperature Mapping during Disc Biacuplasty

- in the Human Cadaver. *Pain Physician*, 2, E217-E223. <https://doi.org/10.36076/ppj/2015.18.e217>
- [8] Laboureyras, E., Rivat, C., Cahana, A. and Richebé, P. (2012) Pulsed Radiofrequency Enhances Morphine Analgesia in Neuropathic Rats. *NeuroReport*, 23, 535-539. <https://doi.org/10.1097/wnr.0b013e3283541179>
- [9] 郭强, 康超, 高晓猛, 等. 双极调压脉冲射频联合小剂量胶原酶治疗腰椎间盘突出症 29 例临床研究[J]. 陕西医学杂志, 2019, 48(12): 1627-1629+1633.
- [10] 张荣宜, 王立奎, 朱本藩, 等. 低温等离子髓核消融术与胶原酶溶解术治疗颈椎间盘突出症的对比研究[J]. 中国疼痛医学杂志, 2018, 24(12): 912-916.
- [11] 朱永强, 吴定权, 宋魁, 等. 低温等离子靶点消融治疗腰椎间盘突出症的临床价值分析[J]. 医学影像学杂志, 2021, 31(11): 1943-1946.
- [12] Cosman, E.R., Dolensky, J.R. and Hoffman, R.A. (2014) Factors That Affect Radiofrequency Heat Lesion Size. *Pain Medicine*, 15, 2020-2036. <https://doi.org/10.1111/pme.12566>
- [13] Wondra, A., Gulhar, S., Brestle, M.D., Chou, J. and Desai, M.J. (2024) Bipolar Radiofrequency Ablation Lesion Areas and Confluence: An *ex Vivo* Study and Technical Report. *Pain Practice*, 24, 489-501. <https://doi.org/10.1111/papr.13323>
- [14] 杨扬, 朱亚文, 林建. 射频双电极针平行错位排列蛋清热凝物形态分析[J]. 江苏医药, 2012, 38(1): 21-23.
- [15] 黄蘋, 董春英, 黄立荣, 等. 侧俯卧位 MRI 引导腰脊神经后根神经节射频消融术的手术体位护理[J]. 广州医药, 2024, 55(5): 562-566.
- [16] 韩福康, 王富军, 贾峰, 等. 多维角度测绘在腰椎间盘突出症射频消融术的应用效果[J]. 微创医学, 2023, 18(4): 469-471.
- [17] 王景, 徐瑞, 康学文, 等. 智能手机在人工全髋关节置换术中测量髌臼假体植入角度的应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2016, 30(9): 1061-1064.
- [18] 高卿姬, 王建雄, 孙定平. 改良射频针技术在腰椎间盘突出射频消融术中的临床应用效果[J]. 青海医药杂志, 2023, 53(5): 44-47.
- [19] 董蕊, 杨旭, 杜思扬, 等. CT 三维重建引导低温等离子射频消融联合臭氧及胶原酶治疗腰椎间盘突出症的疗效分析[J]. 临床和实验医学杂志, 2023, 22(9): 991-994.