

综 述

腰椎间盘突出症的微创介入治疗进展*

赵起鹏 嘉 芮 罗家佳
杜 勇*
川北医学院附属医院放射科
(四川 南充 637000)

【摘要】腰椎间盘突出症是临床最常见疾患之一。由于其发病机制多样，具有难治易复发等特点，严重的患者通常需手术治疗，透视、CT等影像设备引导介入微创技术具有疗效好、创伤小、成本相对较低等特点，在临床上的应用逐渐增多。本综述结合常见的影像设备(如透视、CT等)介导下经皮穿刺技术的国内外研究进程，分析其应用的概念及优越性，并指出治疗过程中存在的问题。使临床医师更加系统的了解微创方法治疗腰椎间盘突出症时的应用进展。

【关键词】腰椎间盘突出症；透视、CT引导下介入微创治疗。
【中图分类号】R681.5
【文献标识码】A
【基金项目】国家临床重点专科建设项目([2023]87)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.10.057

Advances in Minimally Invasive Interventional Treatment of Lumbar Disc herniation*

ZHAO Qi-peng, JIA Rui, LUO Jia-jia, DU Yong*.
Department of Radiology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China

ABSTRACT
Lumbar disc herniation is one of the most common clinical conditions. Due to its diverse pathogenesis and characteristics such as difficulty in treatment and easy recurrence, severe patients usually require surgical treatment. Interventional minimally invasive techniques have the advantages of good therapeutic effect, small trauma, and relatively low cost, and their clinical application is gradually increasing. This review combines the research progress of common percutaneous puncture techniques both domestically and internationally, analyzes their application concepts and advantages, and points out the problems that exist in the treatment process. Enable clinical physicians to have a more systematic understanding of the application progress of minimally invasive methods in the treatment of lumbar disc herniation.

Keywords: Lumbar Disc Herniation; CT and MRI Guided Minimally Invasive Intervention Therapy

腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)是临床常见疾患之一，一般认为是由于椎间盘内髓核组织向后穿过纤维环裂隙形成突出物所致。人体的椎间盘不仅具有流体动力学特性，而且具有承受和传递压力、限制脊柱过度运动的功能。椎间盘主要由髓核和纤维环组成。髓核是位于椎间盘中心的胶状部分，主要含有水和II型胶原，纤维环位于髓核周围，其前部较厚，后部较薄。因此，髓核更可能突出到后部或后侧。

腰椎间盘突出、急性扭伤、慢性劳损等因素导致纤维环破裂、髓核突出，它不仅压迫腰骶神经根和马尾，引起机械刺激，而且还释放炎症蛋白和炎症因子(如白细胞介素-1、白细胞介素-6、肿瘤坏死因子-α和人粒细胞巨噬细胞集落刺激因子)，引起化学无菌性炎症。两者都会导致神经根损伤，如缺血、水肿、纤维化和脱髓鞘，以及与病因相关的临床症状，如腰痛、肌无力和跛行。

目前的LDH阶梯式治疗，主要包括保守治疗、药物治疗、微创介入、开放性手术等，各有不同的优缺点和适应证，后路腰椎椎体融合术(PLIF)是目前临床上标准的手术方式，具有临床治愈率高、复发率低等优点。但这种手术方式创伤大，术后患者需长时间卧床，且常伴有硬膜瘢痕粘连、伤口感染等严重并发症；此外，开放手术不可避免地会破坏椎体、椎板、椎体附近的肌肉、韧带等软组织，因此，脊柱的稳定性会受到影响。透视及CT等影像设备介导下的微创介入手术因其较少的并发症率及良好的手术成功率被越来越多的应用于临床。微创介入手术包括：髓核化学消融术、臭氧注射术、经皮射频消融术、经皮椎间盘切除等，本综述结合常见的影像设备介导下的腰椎间盘突出治疗术的国内外研究进程，分析其应用的可行性及优越性，并指出治疗过程中存在的问题，对其发展进行展望。

1 髓核化学消融术

化学髓核溶解术的基本原理为将某些酶注入到椎间盘内，将其中的胶原纤维最终降解为氨基酸并吸收，以缓解突出物对神经根的压迫的方法。实验研究表明^[1]，化学髓核溶解术如胶原酶等可以降解胶原蛋白、缩小髓核体积，达到解除突出髓核对神经根的机械性压迫，同时还抑制炎症物质磷脂酶 A2 的活性，起到缓解疼痛的作用。

1.1 胶原酶 这是目前临床上常用制剂，由溶组织梭状芽孢杆菌发酵，经提取、精制、加入适量的赋形剂和稳定剂制成^[2]。胶原酶是一种特异性溶解胶原蛋白的酶，能在正常的生理温度和酸碱度环境条件下有效地、特异性地溶解髓核和纤维环中的 I、II 型胶原而不损伤临近的血管神经和其他组织，特异性高。毒性试验表明胶原酶行盘内、静脉内、脊柱旁及硬膜外注射有较大的安全范围^[3]。张皓、钟升院等人^[4-5]研究发现，大部分 LDH 患者在CT引导下化学消融术后即能缓解疼痛，术后 30~180 d 的优良率达81.1%~91.7%，证实应用胶原酶、镇痛、消炎液行椎间盘化学消融术治疗LDH，止痛效果良好、缓解疼痛迅速，盘内、盘外联合临床疗效更好。常见的并发症如：(1)化学性脑脊髓膜炎：即胶原酶误注入蛛网膜下腔，预后较差。(2)椎间隙感染。(3)神经根损伤等。

贺^[6]等人发现胶原酶髓核溶解术组术后早期(术后3天和2个月)疗效差于经皮椎间

【第一作者】赵起鹏，男，初级医师，主要研究方向：腹部影像诊断与微创介入治疗。E-mail: 736320424@qq.com
【通讯作者】杜 勇，男，主任医师，主要研究方向：腹部影像诊断与微创介入治疗。E-mail: duyong@nsmc.edu.cn

孔镜组椎间盘切除术组, 两组间VAS评分差异显著。可能的原因包括: (1)相比椎间孔镜直接钳取突出髓核, 胶原酶溶解髓核是一个渐进性过程。(2)胶原酶髓核溶解术存在术后早期疼痛反应^[7-8]; 通常发生在术后3~4天, 通常持续1周左右^[9]。这不仅增加了病人的痛苦, 也影响了医生的信心。此外, 这项技术需要操作者对于基本理论及技术有非常熟练掌握, 这点制约了该技术的广泛应用。

1.2 硫酸软骨素ABC内溶酶 它是一种从革兰氏阴性变形杆菌中提取的多糖酶^[10], 对硫酸软骨素和透明质酸具有很高的底物特异性, 这两种蛋白聚糖是椎间盘髓核所富含的, 可通过降解髓核内蛋白多糖的GAGs来减小椎间盘的大小, 从而减少水分含量和椎间盘内压力, 进而使突出的包块压迫神经根, 此外, 硫酸软骨素 ABC内溶酶完全缺乏蛋白水解活性, 因此硫酸软骨素 ABC内溶酶可能是一种对周围神经和血管影响较小的治疗药物。Nakajima^[11]等人将术后三个月时VAS评分下降50%定义为缓解, 缓解率达到76.2%; Kazuhiro Chiba等人^[12]的一项随机、双盲试验也指出该酶对改善神经学结果、身体功能和生活质量非常有效。一篇meta分析中指出: 大约74%、81%和79%的患者分别在接受硫酸软骨素ABC内溶酶治疗后3个月、6个月和12个月出现有临床意义的疼痛改善; 即使硫酸软骨素 ABC内溶酶的疗效与手术治疗仍有差距, 但保守治疗无效的患者中, 约有78%的患者在治疗后达到了足以避免手术的治疗效果。同时, 在预防LDH复发方面, 硫酸软骨素 ABC内溶酶与手术疗效相似^[13]。它的并发症包括: (1)背痛。背部疼痛是最常见的并发症^[12], 大多数患者在给药后相对较早发生, 所有患者的严重程度均为轻至中度, 大多数患者的临床症状在未经治疗的情况下缓解或减轻。Yuka Minamisawa^[14]等人指出, 可能是因为化学核溶解, 椎间盘内的压力突然降低, 椎间盘间隙迅速缩小, 导致小关节负载。腰椎症可能会被暂时挤压, 引起下肢疼痛、下背部疼痛等症状暂时加重。在大多数情况下, 症状在给药后几小时到几天内改善。(2)过敏反应: 皮疹是最常见的过敏样症状; 但都可以在标准的皮肤科治疗后解决; 过敏性休克, 给药后发生过敏性休克的患者占0.5%^[15], 硫酸软骨素 ABC内溶酶是一种外来蛋白, 过敏性休克的危险不容忽视。(3)椎体终板炎及椎间盘退变。McGirt等^[16]报道使用硫酸软骨素 ABC内溶酶后再行椎间盘切除术, 6个月和2年椎间盘高度分别下降了21%和26%, 并且MRI上信号发生改变(即pfirrmann分级恶化)。

Ohtori等^[17]报道, 28.0%的患者观察到软骨终板的变化(Modic分级)。Kazuhiro Chiba等人^[12]在研究中, 也出现了类似的影像学结果; 但它们没有伴随临床症状, 也没有导致临床后果。Bannoet等人^[18]发现, 使用硫酸软骨素ABC内溶酶进行化学核溶解引起的椎间盘退变在1年后可以逆转。因此, 该酶对于椎间盘的影响只是暂时的, 一旦酶活性消失, 椎间盘可以再生。这种现象在年轻患者中更为普遍^[19]。

研究发现运用硫酸软骨素ABC内溶酶对症状持续1年以上的患者进行的应答率较低^[18]; 多项报道表明, MRI上T2高信号是预后良好的因素^[18,20]; 不同患者对于硫酸软骨素 ABC内溶酶反应不同, Yusuke Oshita^[21]的一项多中心回顾性分析指出Pfirrmann分类可能与治疗效果有关, Pfirrmann分级更高的患者治疗效果反而更好。这一发现与Nakajima等人^[11]的研究结果一致。这些结果是否意味着, 对于更严重退化的椎间盘, 硫酸软骨素 ABC内溶酶的治疗是否具有更高的疗效, 还需要进一步研究。

在Matsuyama等人^[22]进行的一项随机对照试验研究中, 194

名患者接受了1.25u、2.5u或5u的硫酸软骨素 ABC内溶酶椎间盘内注射或安慰剂椎间盘内注射。结果显示, 虽然三种剂量的疗效相似, 但不良事件是剂量依赖性的, 因此, 1.25 U是椎间盘内注射的合适剂量。

2 经皮臭氧溶解术

臭氧化学核溶解术, 臭氧是一种通常存在于大气中的气体, 具有强大的氧化能力^[23], 被广泛应用于多个领域; 在医学上, 由于其抗炎、止痛和防腐的特性而被使用。在肌肉骨骼器官中, 这些特性使其成为治疗炎症和退行性过程的宝贵药物, 如退行性椎间盘疾病^[24]。在欧洲, 已将其与极低浓度的氧(O₂~O₃)联合用于经皮椎间盘内注射15年, 治疗成功率高(70~80%), 成本低, 并发症少^[25-27]。臭氧对髓核的蛋白聚糖有很强的氧化作用, 导致基质脱水、退变、椎间盘体积缩小, 进而导致椎间盘内压力显著下降, 减轻对神经根和周围血管的压迫, 减少静脉淤积、神经根水肿和缺氧, 这可能是臭氧减轻神经根压迫和缓解椎间盘突出相关疼痛的主要机制; 此外, 它增加了红细胞内2,3-二磷酸甘油酸的浓度, 从而增加了组织氧合; 臭氧还通过抑制促炎细胞因子、前列腺素E₂、缓激肽的合成和释放以及刺激抗炎细胞因子的释放而具有有效的镇痛和抗炎作用^[25-35]。

(O₂~O₃)被认为是保守治疗和手术失败之间的中间治疗选择。部分接受臭氧治疗的患者能避免手术, Alexis Kelekis^[36]等人的试验中指出: 在6个月的随访中, 71%(17 / 24)接受氧-臭氧治疗的患者避免了显微椎间盘切除术。而且氧气-臭氧的平均手术时间、平均出院时间明显快于显微椎间盘切除术(P<0.001), 这减少了手术及院内相关并发症。当使用浓度为1-40 mg/mL时, (O₂~O₃)已被证明是安全的, 很少有副作用。常用(O₂~O₃)气体混合物的体积为8~10mL(2%的O₃, 浓度为30~40mg/mL, 98%的O₂)。据文献报道, 总的手术并发症发生率估计约为0.1%^[37], 包括(1)短期并发症: 感染, 这些可能与细菌消毒有关; (2)长期并发症: 一项研究^[38]报道在治疗后12~24个月出现软组织和骨结构之间的硬粘连。特别是神经根与硬脑膜囊有严重的粘连, 这是一个挑战。当然, 这篇文章分析的病人是在短时间内经历多次(O₂~O₃)椎间孔内浸润的患者(8周内23次)。

3 经皮椎间盘切除术

经皮减压手术是基于Hijikata(1975)的理论^[39], 该理论指出“椎间盘内压力的降低减少了神经根和环周区疼痛感受器的刺激”, 他以置入导管的方式制作手术窗来摘除突出的髓核组织, 这是经皮腰椎间盘摘除术最基本的思路。在后续的几十年研究中验证了这一手术思路的可行性, 并形成了较为成熟的术式, 如透视引导下的经皮椎间孔椎间盘切除术(PTED)、经皮内镜下腰椎间盘切除术(PELD)、自动经皮椎间盘摘除术(APLD)等术式, 经皮椎间盘切除术是一种极微创手术, 具有局麻、创伤小、不破坏脊柱后柱稳定结构等特点, 可以在不破坏腰椎稳定性的情况下, 同时取出突出的髓核并进行减压。通过椎间孔镜可以扩大手术视野, 降低硬脑膜囊损伤、神经组织牵拉、软组织剥离等风险。在保证临床有效治疗的前提下, 可大幅度减少手术并发症的发生^[40]。Li^[41]等人发现观察组(PELD)临床治疗有效率达93.94%, 手术时间、切口长度、术中出血量、术后卧床时间、住院时间等观察指标与对照组(PLIF)比较差异有统计学意义。对腰椎Cobb角和前凸角无影响, 手术并发症与对照组无明显差异。此外, 两组患者术后第7天ODI指数、JOA、VAS评分均有显著改善, 且观察组较对

照组改善更显著。说明PELD具有手术时间短、创伤小、术中出血量少、术后恢复快等优点。经皮椎间盘切除术的缺陷包括：(1)费用高；(2)辐射暴露超过传统的开放手术；(3)学习曲线陡峭，学习成本高，相较于传统手术，经皮椎间盘切除术手术空间小，图像上的解剖结构与直视存在差异，使其更难掌握；(4)最重要的一点，经皮椎间盘切除术复发率高。Hoogland等报道PTED治疗后LDH 1年内复发率约为3.92%^[42]。与PTED相比，开放手术能更完整地切除椎间盘。由于PTED只能去除明显突出的椎间盘组织，因此PTED很难完全消除髓核残余。此外，术后纤维环破裂的瘢痕组织愈合较弱。残留的椎间盘组织很容易突破这一薄弱环节，这也是复发率高的另一个原因^[43]。导致患者对术后结果不满意，许多患者甚至需要再手术，降低了患者的生活质量，加重了患者的经济负担。以上几点可能制约了该技术在国内的发展。

4 射频技术

射频(RF)消融已被应用于腰椎或颈椎椎间盘突出。在高温条件下，射频消融破坏髓核组织的分子链，导致胶原收缩，髓核退变，凝血、萎缩，椎间盘总容积减小。椎间盘内压力降低，从而减轻间盘对于神经的压迫。同时，射频可以在短时间内提高局部温度。热效应可以改善局部血液循环，减轻神经根附近和椎管内椎间盘破裂的炎症反应。此外，射频热凝靶点消融可损毁靶点区内感觉神经纤维，使疼痛减轻甚至消失以达到治疗的目的^[44-45]。射频椎间盘减压术(TDD)和射频髓核成形术(PDN)是射频技术的其中两种运用，Nie^[46]等人的研究表明二者均能显著改善患者的腰痛和下肢放射痛，两组间VAS和FRI评分无显著差异，射频髓核成形平均手术时间更短(66分钟vs 102分钟)，因此，手术相关并发症可能较TDD更少。

Huo^[47]等人的研究表明PETD和PDN治疗包容型LDH均有较好的疗效，术后6个月内老年患者接受PETD治疗的疗效收益大于PDN，PDN更适用于青、中年。Yin^[48]等人探讨和比较了不同手术水平(单水平与双水平)PDN治疗LDH的疗效。单水平组和双水平组术后VAS评分较术前均有显著提高。单水平组与双水平组术后1个月腿部疼痛VAS评分差异无统计学意义(表2, $P=0.29$)。但从PDN后6个月至最后一次随访，双水平组的腿部疼痛VAS评分明显高于单水平组，单水平组和双水平组术后1个月疼痛缓解率(术前VAS-术后VAS)/(术前VAS) $\times 100\%$ 分别为60.9%和56.7%。单水平组和双水平组术后1个月患者总体满意度分别为84.0%和80.0%，单水平组和双水平组再手术率分别为6.7%和23.3%。提示单节段手术疗效更佳，且再手术率低，患者满意度高。

随着微创理念的推广，微创技术的不断进展，微创技术具有创伤小、疗效佳、并发症少、术后恢复快等优势，已然成为治疗LDH的新趋势。目前，临床上还有许多采用两种甚至两种以上的微创技术组合来治疗LDH。曾庭基^[49]等人发现，CT引导射频结合胶原酶治疗腰椎间盘突出症，有效率达94%。Wu等^[50]研究表明，与单纯的射频髓核成形术相比，射频髓核成形术联合神经阻滞术可显著改善术后早期疼痛症状，提高患者功能水平。Li^[51]等人将CT引导下胶原酶化学核溶解术与腰肌间室阻滞联合使用，提高了胶原酶治疗LDH的成功率，而减少胶原酶注射的术后疼痛，研究成功率为86.5~93.8%，明显高于文献报道的成功率。Huang^[52]等人运用PELD联合脊柱神经消融术，比单用PELD在治疗腰椎间盘突出症患者的腰痛方面具有优势，在80例患者术后一个月观察到的腰痛平均VAS评分从6.45降至1.61，降低了75%，高于既往文献，而且解决了部分患者PELD术后残余背痛的问题。

现阶段由透视、CT等影像设备介导LDH微创技术治疗日益完善，获得了广泛的认可和推广。临床上，不管采用何种技术，都应掌握病症特点，并与微创技术紧密结合，根据患者具体情况，制定个体化、细节化的治疗方案，以取得最佳的临床疗效。

参考文献

- [1]陈黔,王大寿,刘兰,等.椎间盘胶原酶溶解术后血清免疫球蛋白的相关研究[J].山东大学学报:医学版,2008,46(6):644.
- [2]王迎虎,谭建强,郑宝森.胶原酶治疗椎间盘突出症的研究进展[J].中国疼痛医学杂志,2014,20(02):117-119.
- [3]Sussman B J,Mann M.Experimental intervertebral discolysis with collagenase[J].JNeurosurg,1969,31(6):628-635.
- [4]张皓,杨茂江,琼仙,等.CT引导下化学消融术治疗腰椎间盘突出症的临床研究[J].重庆医学,2017,46(36):5109-5111.
- [5]钟升院,潘玉玲,张卫民,等.CT定位下经皮注射胶原酶对椎间盘膨出症疗效分析[J].罕少疾病杂志,2015,22(5):48-49,56.
- [6]贺奇志,周黎明,沈兴利,等.经皮椎间孔镜髓核摘除术与胶原酶髓核溶解术治疗腰椎间盘突出症的疗效对比[J].右江医学,2023,51(5):434-437.
- [7]Wu Z,Wei LX,Li J,et al.Percutaneous treatment of non-contained lumbar disc herniation by injection of oxygen-ozone combined with collagenase[J].Eur J Radiol 2009,72:499-504.
- [8]Qian Z.Clinical observation of postoperative pain treatment of lumbar disc herniation by intervertebral injection of collagenase[J].Medical Recapitulate 2012,3912-3913.
- [9]Fisher RG,Bromley JW,Becker GL,et al.Surgical experience following intervertebral discolysis with collagenase[J].J Neurosurg 1986,64:613-616.
- [10]Yamagata T,Saito H,Habuchi O,et al.Purification and properties of bacterial chondroitinases and chondrosulfatases[J].J Biol Chem 1968,243:1523-1535.
- [11]Nakajima H,Kubota A,Maezawa Y,et al.Short-term outcome and predictors of therapeutic effects of intradiscal condoliase injection for patients with lumbar disc herniation[J].Spine Surg Relat Res,2021,5:264-271.
- [12]Matsuyama Y,Chiba K.Condoliase for treatment of lumbar disc herniation[J].Drugs Today (Barc),2019,55(1):17-23.
- [13]Huang Z,Xu B,Liu Y,et al.The efficacy and safety of condoliase for lumbar disc herniation:a systematic review and meta-analysis[J].Front Pharmacol,2023 Aug 21,14:1151998.
- [14]Minamisawa Y,Shirogane T,Watanabe I,et al.Histological analysis of nucleus pulposus tissue from patients with lumbar disc herniation after condoliase administration[J].JOR Spine,2024,7(2):e1328.
- [15]Simmons JW,Nordby EJ,Hadjipavlou AG.Chemonucleolysis:the state of the art[J].Eur Spine J,2001,10:192-202.
- [16]McGirt MJ,Eustacchio S,Varga P,et al.A prospective cohort study of close interval computed tomography and magnetic resonance imaging after primary lumbar discectomy:factors associated with recurrent disc herniation and disc height loss[J].Spine (Phila Pa 1976),2009,34:2044-2051.
- [17]Ohtori S,Yamashita M,Yamauchi K,et al.Low back pain after lumbar discectomy in patients showing endplate modic type 1 change[J].Spine (Phila Pa 1976),2010,35:E596-600.
- [18]Banno T,Hasegawa T,Yamato Y,et al.Disc degeneration could be recovered after chemonucleolysis with condoliase.—1 year clinical outcome of condoliase therapy[J].J Orthop Sci,2022,27(4):767-773.
- [19]Kobayashi K,Sato K,Ando T.Factors associated with disc degeneration based on Pfirrmann criteria after condoliase treatment for lumbar disc herniation[J].J Orthop Sci,2023,28(5):976-983.
- [20]Ishibashi K,Iwai H,Koga H.Chemonucleolysis with chondroitin sulfate ABC endolase as a novel minimally invasive treatment for patients with lumbar intervertebral disc herniation[J].J Spine Surg,2019,5(Suppl 1):S115-S121.

- [21] Oshita Y, Matsuyama D, Sakai D, et al. Multicenter retrospective analysis of intradiscal condoliase injection therapy for lumbar disc herniation[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2022 Sep 15, 58.
- [22] Matsuyama Y. A multicenter, randomized, double-blind, dose-finding study of condoliase in patients with lumbardisc herniation[J]. *J Neurosurg, Spine*, 2018, 28(5), 499-511.
- [23] Bocci V, Aldinucci C, Valacchi G, et al. Ozone in medicine[J]. *Ozone Sci Eng* 2001, 23: 207e17.
- [24] Vanni D, Galzio R, Kazakova A, et al. Intraforaminal ozone therapy and particular side effects: Preliminary results and early warning[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2016, 158: 991e3.
- [25] Magalhaes FN, Dotta L, Sasse A, et al. Ozone therapy as a treatment for low back pain secondary to herniated disc: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Pain Physician*, 2012, 15(2): E115-129.
- [26] Muto M, Giurazza F, Silva RP, et al. Rational approach, technique and selection criteria treating lumbar disk herniations by oxygen-ozone therapy[J]. *Interv Neuroradiol*, 2016, 22(6): 736-740.
- [27] Steppan J, Meaders T, Muto M, et al. A meta-analysis of the effectiveness and safety of ozone treatments for herniated lumbar discs[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2010, 21(4): 534-548.
- [28] Andreula CF, Simonetti L, De Santis F, et al. Minimally invasive oxygen-ozone therapy for lumbar disk herniation[J]. *Am J Neuroradiol*, 2003, 24(5): 996-1000.
- [29] Bocci V, Luzzi E, Corradeschi F, et al. Studies on the biological effects of ozone: 3. An attempt to define conditions for optimal induction of cytokines[J]. *Lymphokine Cytokine Res*, 1993, 12(2): 121-126.
- [30] Guarnieri G, Vassallo P, Pezzullo M, et al. A comparison of minimally invasive techniques in percutaneous treatment of lumbar herniated discs: a review[J]. *Neuroradiol J*, 2009, 22(1): 108-121.
- [31] Iliakis E, Valadakis V, Vynios D, et al. Rationalization of the activity of medical ozone on intervertebral disc: a histological and biochemical study[J]. *Riv Neuroradiol*, 2001, 14(1-suppl): 23-30.
- [32] Murphy K, Elias G, Steppan J, et al. Percutaneous treatment of herniated lumbar discs with ozone: investigation of the mechanisms of action[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2016, 27(8): 1242-1250. e1243.
- [33] Leonardi M, Simonetti L, Barbara C. The effects of ozone on the nucleus pulposus: pathological data on one surgical specimen[J]. *Riv Neuroradiol*, 2001, 14: 57-59.
- [34] Simonetti L, Raffi L, Cenni P, et al. Pharmacological mechanisms underlying oxygen-ozone therapy for herniated disc[J]. *Riv Neuroradiol*, 2003, 16(2-suppl-part2): 201-204.
- [34] Takahashi H, Suguro T, Okazima Y, et al. Inflammatory cytokines in the herniated disc of the lumbar spine[J]. *Spine*, 1996, 21(2): 218-224.
- [35] Kelekis A, Bonaldi G, Cianfoni A, et al. Intradiscal oxygen-ozone chemonucleolysis versus microdiscectomy for lumbar disc herniation radiculopathy: a non-inferiority randomized control trial[J]. *Spine J*, 2022, 22(6): 895-909.
- [36] Dall'olio M, Princiotta C, Cirillo L, et al. Oxygen-ozone therapy for herniated lumbar disc in patients with subacute partial motor weakness due to nerve root compression[J]. *Interv Neuroradiol*, 2014, 20: 547e54.
- [37] Vanni D, Galzio R, Kazakova A, et al. Intraforaminal ozone therapy and particular side effects: Preliminary results and early warning[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2016, 158: 991e3.
- [38] Hijikata S, Yamagishi M, Nakayama T, et al. Percutaneous discectomy: a new treatment method for lumbar disc herniation[J]. *J Tokyo Den-ryoku Hosp*.
- [39] Carrascosa-Granada A, Velazquez W, Wagner R, et al. Comparative study between uniportal full-endoscopic interlaminar and tubular approach in the treatment of lumbar spinal stenosis: a pilot study[J]. *Global Spine J*, 2020, 10(2 Suppl): 70S-78S.
- [40] Li Z, Jiang CY, Xu BS. A comparative study on the clinical efficacy of percutaneous endoscopic lumbar discectomy and conventional open surgery in the treatment of lumbar disc herniation[J]. *Pak J Med Sci*, 2024, 40(3Part-II): 297-302.
- [41] Hoogland T, Schubert M, Miklitz B, et al. A Transforaminal posterolateral endoscopic discectomy with or without the combination of a low-dose chymopapain: A prospective randomized study in 280 consecutive cases[J]. *Spine*, 2006, 31: E890-E897.
- [43] Zhao XM, Chen AF, Lou XX, et al. Comparison of three common intervertebral disc discectomies in the treatment of lumbar disc herniation: a systematic review and meta-analysis based on multiple data[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(22): 6604.
- [43] Leon JF, Ortiz JG, Fonseca EO, et al. Radiofrequency neurolysis for lumbar pain using a variation of the original technique[J]. *Pain Physician*, 2016, 19(3): 155-161.
- [44] Kapural L, Vrooman B, Sarwar S et al. Radiofrequency intradiscal biacuplasty for treatment of discogenic lower back pain: a 12-month follow-up[J]. *Pain Med*, 2015, 16(3): 425-431.
- [45] Nie HY, Qi YB, Li N, et al. Comprehensive comparison of therapeutic efficacy of radiofrequency target disc decompression and nucleoplasty for lumbar disc herniation: a five year follow-up[J]. *Int Orthop*, 2018, 42(4): 843-849.
- [46] Huo LY, Yu DW, Feng TX, et al. Comparison of clinical efficacy between percutaneous endoscopic transforaminal discectomy and coblation nucleoplasty in the treatment of inclusive lumbar disc herniation[J]. *Zhongguo Gu Shang*, 2023, 36(1): 17-24.
- [48] Yin H, Zhang X, Huang Z, et al. Efficacy of single level versus double levels surgery of percutaneous disc nucleoplasty (PDN) approach in treating lumbar disc herniation[J]. *Med Sci Monit*, 2021, 27: e930000.
- [49] 曾庭基, 许国增. CT引导介入治疗腰椎间盘突出症[J]. *罕少疾病杂志*, 2015, 22(3): 51-53.
- [50] Wu S, Li X, Lin C, et al. CT-guided nucleoplasty with radiofrequency energy for the treatment of lumbar disc herniation[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2015, 28: E9-16.
- [51] Li B, Xu XX, Du Y, et al. CT-guided chemonucleolysis combined with psoas compartment block in lumbar disc herniation: a randomized controlled study[J]. *Pain Med*, 2014, 15(9): 1470-1476.
- [52] Huang Y, Wei S, Shen Y, et al. A new technique for low back pain in lumbar disc herniation: percutaneous endoscopic lumbar discectomy combined with sinuvertebral nerve ablation[J]. *J Orthop Surg Res*, 2024, 19(1): 341.

(收稿日期: 2024-06-28)

(校对编辑: 翁佳鸿、韩敏求)