

Wallis棘突间动态稳定系统治疗腰椎间盘突出症的研究进展及其与融合术和显微减压术的比较

王国强*, 陈 猛#

山东第一医科大学第一附属医院(山东省千佛山医院)骨外科, 山东 济南

收稿日期: 2026年4月28日; 录用日期: 2026年5月22日; 发布日期: 2026年5月29日

摘 要

腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)是导致下腰痛及下肢放射痛的常见退行性脊柱疾病,严重影响患者生活质量。对于保守治疗无效者,手术干预仍是主要治疗方式。传统后路椎间融合术在缓解疼痛及改善功能方面疗效确切,但以牺牲节段活动度为代价,可能改变脊柱正常的力学传导模式,并增加邻近节段退变(adjacent segment disease, ASD)的发生风险。显微镜下腰椎间盘突出切除术等微创减压技术通过充分神经减压获得良好的短期疗效,但对椎间隙高度及节段稳定性的改善有限。在此背景下,以Wallis系统为代表的棘突间动态稳定装置逐渐受到关注。该装置通过置入棘突间间隔物并配合张力带固定,在限制异常运动的同时保留手术节段的部分生理活动度,旨在减压与稳定之间取得平衡。近年来,关于Wallis动态稳定系统的生物力学特性、临床疗效及影像学改变的研究逐渐增多。本文通过检索PubMed及中国知网等数据库,对近年来有关Wallis动态稳定系统治疗腰椎间盘突出症的研究进行系统梳理,重点综述其结构设计与生物力学基础、临床疗效、影像学改变、邻近节段影响及并发症情况,并与传统融合术及显微镜下腰椎间盘突出切除术进行比较分析。现有研究表明,Wallis系统在疼痛缓解及功能改善方面与传统融合术及微创减压术总体相当,同时在保留手术节段活动度、维持椎间隙高度及改善节段应力分布方面具有一定优势,可能对延缓邻近节段退变具有潜在价值。然而,其长期疗效、邻近节段保护作用及适应证选择仍存在一定争议。综上,Wallis动态稳定系统作为介于单纯减压与融合术之间的“非融合”治疗策略,为部分腰椎间盘突出症患者提供了一种兼顾疗效与功能保留的治疗选择。未来仍需更多高质量、多中心及长期随访研究,以进一步明确其临床定位及适应证。

关键词

Wallis, 棘突间动态稳定, 腰椎间盘突出症, 邻椎病

*第一作者。

#通讯作者。

Research Progress of the Wallis Interspinous Dynamic Stabilization System for Lumbar Disc Herniation and Its Comparison with Fusion Surgery and Microdecompression

Guoqiang Wang*, Meng Chen#

Department of Orthopaedic Surgery, The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University & Shandong Provincial Qianfoshan Hospital, Jinan Shandong

Received: April 28, 2026; accepted: May 22, 2026; published: May 29, 2026

Abstract

Lumbar disc herniation (LDH) is a common degenerative spinal disease that leads to low back pain and lower limb radiation pain, which seriously affects the quality of life of patients. For those who are ineffective in conservative treatment, surgical intervention is still the main treatment. Traditional posterior interbody fusion is effective in relieving pain and improving function, but at the expense of segmental mobility, it may change the normal mechanical conduction mode of the spine and increase the risk of adjacent segment degeneration (ASD). Minimally invasive decompression techniques such as lumbar discectomy under microscope have achieved good short-term results through sufficient nerve decompression, but the improvement of intervertebral space height and segmental stability is limited. In this context, the dynamic stabilization device between spinous processes, represented by Wallis system, has gradually attracted attention. By inserting interspinous spacer and fixing it with tension band, the device can limit abnormal movement while retaining part of the physiological activity of the surgical segment, aiming at achieving a balance between decompression and stability. In recent years, the research on biomechanical characteristics, clinical efficacy and imaging changes of Wallis dynamic stabilization system has gradually increased. In this paper, by searching PubMed and CNKI databases, the research on the treatment of lumbar disc herniation with Wallis dynamic stabilization system in recent years was systematically sorted out, focusing on its structural design, biomechanical basis, clinical efficacy, imaging changes, influence of adjacent segments and complications, and compared with traditional fusion and lumbar disc resection under microscope. The existing research shows that Wallis system is generally equivalent to traditional fusion and minimally invasive decompression in terms of pain relief and function improvement, and has certain advantages in preserving the mobility of surgical segments, maintaining the height of intervertebral space and improving the stress distribution of segments, which may have potential value in delaying the degeneration of adjacent segments. However, there are still some disputes about its long-term efficacy, the protective effect of adjacent segments and the choice of indications. To sum up, Wallis dynamic stabilization system, as a “non-fusion” treatment strategy between simple decompression and fusion, provides a treatment option for some patients with lumbar disc herniation with both curative effect and functional preservation. More high-quality, multi-center and long-term follow-up studies are needed in the future to further clarify its clinical location and indications.

Keywords

Wallis, Interspinous Dynamic Stabilization, Lumbar Disc Herniation, Adjacent Vertebra Disease

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)是导致下腰痛、臀部及下肢放射痛、感觉或运动障碍的最常见脊柱退行性疾病之一,其发病机制与椎间盘退变、纤维环破裂、髓核突出及神经结构受压密切相关[1][2]。研究显示,全球约4亿人口(占全球人口的5.5%)存在有症状的腰椎间盘突出,我国腰椎间盘突出的患病率约为6% [3],严重影响患者生活质量并造成显著的社会经济负担。对于症状较轻或无明显神经功能缺损的患者,理疗、镇痛药物、物理因子治疗及功能锻炼等保守治疗仍是首选方案[2][4];有学者指出腰椎间盘突出症一般是良性且具有自限性,60%~80%的患者经过12周科学规范的保守治疗症状消失,绝大多数患者可获得长期改善[5],然而,部分患者在规范保守治疗无效后,需接受手术干预以解除神经压迫并改善临床症状[6]。

传统后路椎间融合术通过固定病变节段以消除异常活动,被认为是治疗腰椎退行性疾病的“金标准”术式[7]。大量临床研究证实,融合术在缓解疼痛、改善功能方面具有确切疗效但有较多局限性(如对软组织创伤大、出血量多、术后康复时间长等)[8]。其中,传统融合术以牺牲节段活动度为代价,改变了脊柱正常的力学传导模式,易导致应力向邻近节段集中,从而加速邻近节段退变(adjacent segment disease, ASD)的发生[9][10]。邻近节段退变是指腰椎融合术后融合节段相邻的运动节段发生的退行性病理改变,其在影像学上可表现为椎管狭窄、节段性不稳及假关节形成等征象,临床上则以腰痛、间歇性跛行等为主要症状[11]。

为减少手术创伤,显微镜下腰椎间盘突出切除术等微创减压技术近年来在临床中得到广泛应用。该术式通过微创入路实现充分神经减压,在疼痛缓解和神经功能恢复方面疗效确切[12],手术技术和设备的更新使此类手术变得更加精准和安全。显微镜下腰椎间盘突出切除术具有手术切口小、出血量少、术后恢复时间快等优点,然而,由于其主要作用机制为“单纯减压”,对椎间隙高度恢复、节段稳定性维持及退变进展的干预能力有限,部分患者术后仍可能出现腰背部不适或影像学退变加重[13]。

在上述背景下,“非融合”理念逐渐成为脊柱外科的重要发展方向。1986年Sénégas [14]提出并设计了第一代棘突间Wallis动态稳定系统,其核心目的是在限制异常运动的同时保留节段部分生理活动度,从而在减压与稳定之间取得平衡。理论上,该系统可通过恢复椎间孔高度、减轻小关节负荷并优化节段应力分布,降低融合术相关并发症及ASD的发生风险。尽管有限元分析为其理论优势提供了一定支持[15],但关于Wallis动态稳定系统的长期临床疗效、影像学改变及邻近节段保护作用,学界仍存在争议。

因此,本综述梳理现有中英文文献,从疾病机制、手术技术、生物力学基础、临床与影像学结果及并发症等多个层面,对Wallis动态稳定系统在腰椎间盘突出症治疗中的作用进行全面评述,并与传统融合术及微创减压术进行比较,为临床术式选择及未来研究方向提供参考。

2. 腰椎间盘突出症的病理生理基础与影像学评估进展

2.1. 腰椎间盘突出症的退变机制

腰椎间盘的退变是一个多因素参与的渐进性过程, 与年龄增长、机械负荷异常、遗传易感性及炎症反应等密切相关[16]-[18]。椎间盘退变早期表现为髓核含水量减少、弹性降低及纤维环微裂纹形成, 随着退变进展, 髓核组织可经纤维环破裂向后或后外侧突出, 压迫神经根或硬膜囊, 引发相应的临床症状[19]。除机械压迫外, 退变椎间盘释放的炎症介质亦被认为在神经痛形成中发挥重要作用[20] [21]。

值得关注的是, 腰椎间盘退变往往并非独立的病理过程。作为椎体间重要的力学缓冲结构, 椎间盘的退变可诱发脊柱生物力学失衡(如载荷分布异常)[22], 进而为节段失稳及邻近节段退变的发生奠定病理基础。

2.2. 影像学评估标准及其在疗效评价中的意义

核磁共振检查(MRI)被认为是评估椎间盘退变程度最重要的方法[23], 其中 Pfirrmann 分级被广泛用于量化椎间盘退变程度[24]。研究表明, 较高的 Pfirrmann 分级通常与椎间隙高度降低相关[25]。

在节段稳定性评估方面, 动态 X 线片(过屈过伸位)仍是临床常用方法, 过屈过伸位 X 线片可全面评估腰椎的功能状态与退变特征, 包括: (1) 腰椎屈伸活动范围的测量; (2) 棘突间距的动态变化; (3) 椎体矢状位移(前移/后移)的判定; (4) 腰椎其他结构异常, 如小关节骨关节炎、关节囊退变、韧带骨化及骨质增生; (5) 评价手术疗效等[26]。节段活动度(range of motion, ROM)可反映术前及术后节段运动特征的变化[27] [28]。此外, 椎间孔高度(foraminal height, FH)及椎间盘后高度(posterior disc height, PDH)等参数可用于评价椎间孔及椎间隙的结构性改变, 常用于术前、术后的比较研究中[28]。

3. 传统腰椎融合术的疗效与局限

3.1. 临床疗效与适应证

传统椎间融合术通过植骨和内固定实现病变节段的永久性稳定, 适用于腰椎滑脱、椎管狭窄、椎间盘源性腰痛的患者[29]。大量研究证实, 椎间融合术可有效撑开椎间盘间隙, 减少单纯植骨后植入骨吸收, 有利于恢复脊柱生理力学解剖结构, 维持椎间隙高度, 提升脊柱稳定性, 在短期内可有效缓解疼痛、改善功能评分(如 VAS 评分、ODI 评分、JOA 评分), 其临床疗效相对稳定[30] [31]。

3.2. 邻近节段退变问题

然而, 传统融合术的固有缺陷亦逐渐显现。由于手术节段活动度几乎被完全消除, 脊柱整体运动需求被转移至邻近节段, 导致邻近节段活动度(ROM)及应力负荷增加[32] [33], 进而导致术后邻椎病(ASD)的发生, 据相关文献报道, 腰椎融合术后 ASD 的发生率为 4.7%~30% [34] [35]。研究表明, ASD 是导致腰椎融合术后远期再手术的重要原因, 据有关临床研究报告, 术后 5 年因 ASD 行翻修手术的比例为 13.6%, 而这一比例在术后 10 年已达到 22.2% [36]。这一现象引发了学者对“刚性固定”理念与脊柱生理运动规律之间兼容性的深入思考。

4. 显微镜下腰椎间盘切除术的发展与局限

4.1. 显微镜下腰椎间盘切除术的技术特点

显微镜下腰椎间盘切除术通过有限切口和单侧入路, 在显微视野下完成充分神经减压, 可最大程度保留后方骨性结构和韧带复合体[37]。该术式在减少手术创伤、缩短住院时间及降低围手术期并发症发生率方面具有明显优势[12]。

4.2. 临床疗效与不足

尽管显微镜下腰椎间盘突出术在疼痛缓解和神经功能恢复方面疗效确切,但手术操作难免对关节突、椎板等结构造成一定的破坏,且该术式不提供额外稳定结构[37]。因此,显微镜下腰椎间盘突出术对椎间隙高度及节段稳定性的改善有限。

5. Wallis 动态稳定系统的发展、设计理念与生物力学基础

5.1. 动态稳定理念的提出背景

传统腰椎融合术通过消除病变节段活动以缓解疼痛,其短期临床疗效已被大量研究证实[30][31]。然而,传统融合术不可避免地改变了脊柱整体生物力学环境,导致应力向邻近节段转移,被认为是邻椎病发生的重要机制之一。随着对脊柱整体运动单元(functional spinal unit, FSU)认识的深入,学者逐渐意识到,“刚性固定”并非解决退变性腰椎疾病的唯一途径。

在此背景下,“动态稳定(dynamic stabilization)”理念应运而生,其核心目标是在充分神经减压的基础上,限制异常活动而保留生理活动度,从而在缓解症状的同时,尽量维持脊柱的整体力学平衡[38]。这一理念为棘突间动态稳定装置(interspinous dynamic stabilization devices, ISD)的发展奠定了理论基础。

5.2. 系统结构与工作原理

Wallis 动态稳定系统最早由 S negas [14]于 1986 年提出,该装置(第一代)采用钛合金间隔物与粗缘纶条带组合设计,通过条带将间隔物固定于手术节段棘突间隙,早期临床应用取得了良好疗效。第二代 Wallis 动态稳定系统于 2001 年被 S negas 等人设计,与第一代相比,第二代 Wallis 动态稳定系统的核心改进在于置入材料的优化:采用具有更优弹性模量的聚醚醚酮(PEEK)替代了原有的钛合金。PEEK 材料的弹性模量更接近人体皮质骨,因而与腰椎后方结构呈现出更高的生物力学匹配度,装置通过置入相邻棘突之间,在限制过伸的同时允许一定程度的屈曲活动,从而实现了对后柱的动态支撑[28]。从生物力学角度分析,Wallis 系统主要通过以下途径实现其功能:(1) 通过限制病变节段的过伸活动,降低椎间盘后部及小关节的应力负荷;(2) 重建或维持椎间孔高度及椎间盘后缘高度,从而缓解神经根受压;(3) 在保留节段运动功能的前提下,使应力分布更接近于生理状态,避免完全固定所致的力学弊端[28][39]。与刚性内固定不同,Wallis 并不追求完全稳定,而是强调“动态运动”,这也是其区别于融合术的本质特征。

5.3. 生物力学研究证据

体外生物力学试验及有限元分析结果表明,Wallis 动态稳定系统具有以下力学效应:(1) 手术节段小关节载荷及椎间盘应力有所减少而棘突间撑开装置承重增加;(2) 在过伸位状态下可增加椎间孔横截面积,有助于间接神经减压,然而,研究亦发现与装置相关的并发症,主要包括棘突骨折及棘突间撑开器的疲劳断裂[40]-[42]。

6. Wallis 系统的临床疗效研究进展

6.1. 疼痛缓解与功能改善

临床研究表明,Wallis 动态稳定系统在缓解腰腿痛及改善功能障碍方面与传统融合术以及单纯髓核切除术具有可靠疗效[43][44]。Gu 等[43]在一项随机对照研究中报道,Wallis 组在 3 年随访时 VAS、JOA 和 ODI 均较术前显著改善,且椎间隙高度高于未置入组,提示该装置可在中期维持改善效果并保持节段

生理结构稳定。在长期随访方面, Chen 等[45]对 Wallis 系统进行了至少 5 年的随访研究, 结果显示术后 VAS 和 ODI 在随访终点较术前显著改善, 椎间隙高度和节段活动度均保持良好状态, 无显著邻近节段异常变化, 提示该装置在长期功能维持方面具有一定稳定性。

6.2. 影像学疗效与节段运动学改变

影像学评估是评价动态稳定技术价值的重要组成部分。既往研究多从椎间高度、椎间孔高度及节段活动度等方面进行分析[46] [47]。

多项研究显示, 动态稳定系统可在术后维持或部分恢复椎间盘后高度及椎间孔高度, 有助于减轻神经根牵拉及压迫[43] [48]-[50]。在节段活动度方面, Wallis 组手术节段术后 ROM 得以保留提示其在限制异常活动的同时保留了一定生理活动范围[48]。

6.3. Wallis 系统对邻近节段的影响及 ASD 问题

6.3.1. 邻近节段退变的力学基础

邻椎病被认为是融合术后远期失败的重要原因之一[51], 其发生机制与邻近节段应力增加、椎间盘压力增加及关节突关节负荷增加密切相关[33]。动态稳定技术的提出, 正是尝试通过“保留活动度”来缓解这一问题。

6.3.2. Wallis 系统在邻椎保护中的潜在作用

部分影像学研究发现, Wallis 术后邻近节段 ROM 变化不显著[43], 且有限元分析证实, Wallis 系统可改善术节段应力分布, 并降低邻近节段的应力峰值[15], 这一结果支持 Wallis 系统在维持脊柱整体运动协调性方面的潜在优势。

然而, 目前关于 Wallis 系统是否能够“预防”邻近节段退变(ASD)仍缺乏一致结论。研究表明, 动态稳定装置可能在一定程度上延缓邻椎退变的发生, 但尚不足以完全阻断其进程, 尤其在长期随访中, 对该结果仍需谨慎解读[52]。

7. Wallis 系统的存留率与并发症

关于 Wallis 动态稳定系统的失败率与并发症, 现有文献报道如下: Sénégas 等[44]对 241 例接受第一代 Wallis 系统置入的患者进行了长达 14 年的随访, 结果显示装置存留率为 81.3%; 与棘突间装置相关的失败类型主要包括装置移位或脱出、棘突骨折、感染及血肿等[53]。

8. Wallis 系统在现代脊柱外科中的定位

在当前“精准医疗”和“功能保留”理念的推动下, Wallis 系统逐渐作为一种介于单纯减压与融合术之间的“桥梁方案”(见图 1)。该装置既区别于单纯微创减压术对力学环境的有限干预, 亦避免了融合术所致的节段永久性固定, 体现出介于二者之间的中间路径特征。

在“单纯减压 - 动态稳定 - 融合术”的阶梯式治疗策略中, Wallis 为特定患者群体提供了一种兼顾疗效与功能保留的选择, 尤其适用于年轻、活动需求高且期望延缓融合的患者。

9. 现有研究的局限性与未来展望

尽管现有研究在一定程度上支持 Wallis 系统的临床价值, 但现有证据体系仍存在若干重要局限。首先, 多数研究随访时间相对较短, 这是一个根本性限制。尽管临床疗效通常通过 VAS、ODI 及 JOA 评分等短期指标进行评估, 但这些终点难以充分反映长期结构性变化, 尤其是 ASD 的发生, 而 ASD 往往需

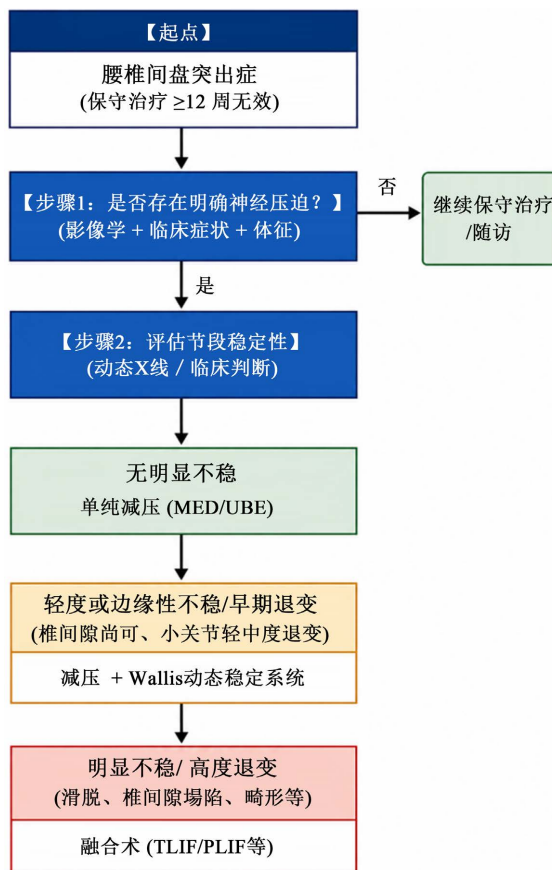


Figure 1. Clinical decision-making flowchart
图 1. 临床决策流程图

要较长时间才能显现。其次，现有研究普遍样本量较小，限制了统计效能，同时掩盖了腰椎间盘突出症患者群体的高度异质性。不同患者在突出类型、节段稳定性、退变程度及小关节状态等方面存在显著差异，这提示不同亚组对治疗的反应可能并不一致。然而，大多数研究仅报告总体平均疗效，缺乏充分的分层或亚组分析，从而限制研究结果在个体化临床决策中的应用价值。第三，研究设计方面的问题亦进一步增加了解释难度。Wallis 系统、融合术及单纯减压术之间的比较往往存在适应证偏倚，因为这些术式通常应用于不同疾病谱及不同严重程度的患者群体。因此，这类比较在一定程度上反映的是“不同患者群体之间的差异”，而非单纯的术式效果差异。此外，外科研究固有的局限(如无法实施双盲、术者经验差异及中心间技术差异)亦可能对研究结果产生重要影响，从而引入额外混杂因素。同时，潜在的商业偏倚亦不容忽视。作为一种具有产业背景的植入装置，Wallis 系统相关研究可能受到发表偏倚及选择性报告的影响。阳性结果更易发表，而并发症(如棘突骨折、装置失效或再手术)可能存在报告不足或定义不一致的问题，从而在一定程度上高估其安全性与有效性。此外，影像学指标与临床结局之间的脱节亦是当前证据的重要缺陷。尽管部分研究显示 Wallis 系统可改善椎间隙高度并保留节段活动度，但这些影像学改善是否能够转化为实际临床获益仍缺乏充分证据支持。目前尚未建立清晰的因果链，将“生物力学改善”与“症状缓解或再手术率降低”等临床结局有效关联。综上所述，现有研究更多证明了 Wallis 系统在短期至中期的可行性及一定疗效，但尚不足以确立其长期优势或明确其临床优越性。未来研究应着重开展多中心、大样本、长期随访的随机对照试验，并采用标准化结局指标及精细化人群分层，以进一步明确动态稳定技术在腰椎退行性疾病中的最佳适应证及临床定位。

参考文献

- [1] Zhang, A.S., Xu, A., Ansari, K., Hardacker, K., Anderson, G., Alsoof, D., *et al.* (2023) Lumbar Disc Herniation: Diagnosis and Management. *The American Journal of Medicine*, **136**, 645-651. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2023.03.024>
- [2] 许建文, 桂裕昌. 腰椎间盘突出症运动康复的专家共识[J]. 中国矫形外科杂志, 2025, 33(20): 1825-1833.
- [3] 徐波, 黄泽灵, 张龙, 等. 中国人群腰椎间盘突出症患病率的 Meta 分析[J]. 中医正骨, 2023, 35(9): 17-23.
- [4] Pojskic, M., Bisson, E., Oertel, J., Takami, T., Zygorakis, C. and Costa, F. (2024) Lumbar Disc Herniation: Epidemiology, Clinical and Radiologic Diagnosis WFNS Spine Committee Recommendations. *World Neurosurgery: X*, **22**, Article 100279. <https://doi.org/10.1016/j.wnsx.2024.100279>
- [5] Kögl, N., Petr, O., Löscher, W., *et al.* (2024) Lumbar Disc Herniation—The Significance of Symptom Duration for the Indication for Surgery. *Deutsches Ärzteblatt International*, **121**, 440-448.
- [6] Shin, E.H., Cho, K.J., *et al.* (2019) Risk Factors for Recurrent Lumbar Disc Herniation after Discectomy. *International Orthopaedics*, **43**, 963-967.
- [7] Fenton-White, H.A. (2021) Trailblazing: The Historical Development of the Posterior Lumbar Interbody Fusion. *The Spine Journal*, **21**, 1528-1541. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.03.016>
- [8] Kim, C.W. (2010) Scientific Basis of Minimally Invasive Spine Surgery: Prevention of Multifidus Muscle Injury during Posterior Lumbar Surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*, **35**, S281-S286.
- [9] Sun, Z., Li, W., Guo, Y., *et al.* (2019) Effect of Pre-Existing Adjacent Segment Degeneration on Short-Term Effectiveness after Lumbar Fusion Surgery. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **33**, 837-844.
- [10] 尹鹏, 海涌, 杨晋才, 等. 经皮内镜下经椎间孔与传统后入路椎间融合术治疗伴有腰椎不稳的腰椎管狭窄症的疗效对比[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31(3): 213-221.
- [11] 秦海彪, 闫景龙, 王光熙, 等. 腰椎融合后邻椎病的手术治疗进展[J]. 颈腰痛杂志, 2025, 46(6): 1116-1121.
- [12] 陈涛, 董新宙, 郑阳, 等. 显微镜和椎间孔镜下腰椎间盘切除术治疗腰椎间盘突出的临床疗效[J]. 医学临床研究, 2024, 41(1): 22-24+28.
- [13] 王彦, 王雨, 高俊, 等. 单侧双通道内镜技术与显微镜下髓核摘除术治疗老年腰椎间盘突出症的疗效比较[J]. 颈腰痛杂志, 2025, 46(2): 204-211.
- [14] SÉNÉGAS, J. (2002) Mechanical Supplementation by Non-Rigid Fixation in Degenerative Intervertebral Lumbar Segments: The Wallis System. *European Spine Journal*, **11**, S164-S169. <https://doi.org/10.1007/s00586-002-0423-9>
- [15] Chen, M., Deng, J., Bao, L., Jia, P., Feng, F., Shi, G., *et al.* (2023) Biomechanical Characteristics of a Novel Interspinous Distraction Fusion Device in the Treatment of Lumbar Degenerative Diseases: A Finite Element Analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **24**, Article No. 944. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-07066-6>
- [16] 钟瑞丹, 冉兵, 魏俊. 腰椎间盘退变与突出动物模型的研究进展[J]. 赣南医学院学报, 2024, 44(4): 409-415.
- [17] 张绪军. 基于 MRI 的椎间盘 Pfirrmann 评分与绝经后腰椎退行性病变患者骨质疏松程度的关系分析[J]. 影像研究与医学应用, 2024, 8(2): 56-58.
- [18] Tian, W. and Qi, H. (2010) Association between Intervertebral Disc Degeneration and Disturbances of Blood Supply to the Vertebrae. *Chinese Medical Journal*, **123**, 239-243.
- [19] 甄瑞鑫, 赵红莲, 史凡祺. 内窥镜技术治疗有真空现象的椎间盘突出的临床效果分析及其发病机制研究[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2023, 56(3): 52-60.
- [20] Rider, S.M., Mizuno, S. and Kang, J.D. (2019) Molecular Mechanisms of Intervertebral Disc Degeneration. *Spine Surgery and Related Research*, **3**, 1-11. <https://doi.org/10.22603/ssr.2017-0095>
- [21] 辜山, 张龙, 李志刚. 炎症因子、白细胞与腰椎间盘突出症的关系[J]. 中国组织工程研究, 2026, 30(18): 4782-4790.
- [22] Dowdell, J., Erwin, M., Choma, T., Vaccaro, A., Iatridis, J. and Cho, S.K. (2017) Intervertebral Disk Degeneration and Repair. *Neurosurgery*, **80**, S46-S54. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyw078>
- [23] Yu, L., Qian, W., Yin, G., Ren, Y. and Hu, Z. (2012) MRI Assessment of Lumbar Intervertebral Disc Degeneration with Lumbar Degenerative Disease Using the Pfirrmann Grading Systems. *PLOS ONE*, **7**, e48074. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048074>
- [24] Çetin, T., Kahraman, S., Kızılgöz, V. and Aydın, S. (2023) The Comparison between Herniated and Non-Herniated Disc Levels Regarding Intervertebral Disc Space Height and Disc Degeneration, a Magnetic Resonance Study. *Diagnostics*, **13**, Article 3190. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13203190>
- [25] Chen, X.L., Li, X.Y., Wang, Y., *et al.* (2023) Relation of Lumbar Intervertebral Disc Height and Severity of Disc

- Degeneration Based on Pfirrmann Scores. *Heliyon*, **9**, e20764. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20764>
- [26] 芦中庆, 戴志龙, 刘泳, 等. 腰椎过屈过伸位 X 线检查在腰椎疾病诊断中的应用价值[J]. 临床军医杂志, 2010, 38(1): 122-124.
- [27] Yue, L., Wang, Y.T., Bai, C.B., *et al.* (2021) Analysis of Surgical Strategy of Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy in Young and Middle-Aged Double-Segment Patients with Lumbar Disc Herniation. *Journal of Peking University (Health Sciences)*, **53**, 734-739.
- [28] 汪能. 第二代棘突间 Wallis 动态稳定系统治疗腰椎退行性疾病的临床疗效研究及影像学分析[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东第一医科大学, 2019.
- [29] 王中山, 胡冰. 腰椎融合术的临床进展[J]. 局解手术学杂志, 2022, 31(3): 257-262.
- [30] 戴春美, 徐卫星, 俞雷钧, 等. 单侧与双侧椎弓根固定椎间融合术治疗双节段腰椎间盘突出症的疗效比较[J]. 浙江医学, 2020, 42(6): 575-579.
- [31] 袁帅, 蒋毅, 李健, 等. 单侧双通道内镜下腰椎间融合术与后路中线腰椎融合术治疗腰椎退行性疾病的临床疗效比较[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2025, 35(12): 1252-1259+1268.
- [32] Huang, R.C., Wright, T.M., Panjabi, M.M. and Lipman, J.D. (2005) Biomechanics of Nonfusion Implants. *Orthopedic Clinics of North America*, **36**, 271-280. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2005.02.010>
- [33] Okuda, S., Nagamoto, Y., Matsumoto, T., Sugiura, T., Takahashi, Y. and Iwasaki, M. (2018) Adjacent Segment Disease after Single Segment Posterior Lumbar Interbody Fusion for Degenerative Spondylolisthesis: Minimum 10 Years Follow-Up. *Spine*, **43**, E1384-E1388. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000002710>
- [34] Mesregah, M.K., Yoshida, B., Lashkari, N., Abedi, A., Meisel, H., Diwan, A., *et al.* (2022) Demographic, Clinical, and Operative Risk Factors Associated with Postoperative Adjacent Segment Disease in Patients Undergoing Lumbar Spine Fusions: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Spine Journal*, **22**, 1038-1069. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.12.002>
- [35] Cannizzaro, D., Anania, C.D., Safa, A., Zaed, I., Morengi, M., Riva, M., *et al.* (2023) Lumbar Adjacent Segment Degeneration after Spinal Fusion Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Neurosurgical Sciences*, **67**, 740-749. <https://doi.org/10.23736/s0390-5616.22.05891-x>
- [36] Mobbs, R.J., Phan, K., Malham, G., *et al.* (2015) Lumbar Interbody Fusion: Techniques, Indications and Comparison of Interbody Fusion Options Including PLIF, TLIF, MI-TLIF, OLIF/ATP, LLIF and ALIF. *Journal of Spine Surgery*, **1**, 2-18.
- [37] 罗敏, 张明, 赵绍伟. 显微镜下微创术与传统髓核摘除术治疗腰椎间盘突出症的疗效比较[J]. 临床骨科杂志, 2013, 16(4): 389-391.
- [38] Saavedra-Pozo, F.M., Deusdara, R.A. and Benzel, E.C. (2014) Adjacent Segment Disease Perspective and Review of the Literature. *Ochsner Journal*, **14**, 78-83.
- [39] 江涛, 付涛, 巴正国. X-Stop 及 Wallis 系统植入对腰椎结构的影响比较[J]. 实用骨科杂志, 2017, 23(1): 1-4+8.
- [40] Marcia, S., Hirsch, J.A., Chandra, R.V., Marras, M., Piras, E., Anselmetti, G.C., *et al.* (2015) Midterm Clinical and Radiologic Outcomes after Percutaneous Interspinous Spacer Treatment for Neurogenic Intermittent Claudication. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, **26**, 1687-1693.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2015.05.011>
- [41] 刘娟. 棘突间动态稳定器的力学特性有限元分析及拓扑优化[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2020.
- [42] Lafage, V., Gangnet, N., S negas, J., Lavaste, F. and Skalli, W. (2007) New Interspinous Implant Evaluation Using an in Vitro Biomechanical Study Combined with a Finite-Element Analysis. *Spine*, **32**, 1706-1713. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e3180b9f429>
- [43] Gu, H., Chang, Y., Zeng, S., Zheng, X., Zhang, R., Zhan, S., *et al.* (2018) Wallis Interspinous Spacer for Treatment of Primary Lumbar Disc Herniation: Three-Year Results of a Randomized Controlled Trial. *World Neurosurgery*, **120**, e1331-e1336. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.09.086>
- [44] S negas, J., Vital, J., Pointillart, V. and Mangione, P. (2007) Long-Term Actuarial Survivorship Analysis of an Interspinous Stabilization System. *European Spine Journal*, **16**, 1279-1287. <https://doi.org/10.1007/s00586-007-0359-1>
- [45] Chen, Z., Peng, B.G., Li, D.M., *et al.* (2014) Minimum 5-Year Follow-Up Study on the Effects of the Wallis Dynamic Stabilization System in the Treatment of Lumbar Degenerative Disease. *Chinese Medical Journal*, **127**, 3587-3591.
- [46] 李宗阳, 简磊, 来佳辉, 等. Dynesys 与 Wallis 系统治疗单节段腰椎间盘突出症的长期疗效及安全性[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2020, 34(3): 268-273.
- [47] Mo, Z., Li, D., Zhang, R., Chang, M., Yang, B. and Tang, S. (2018) Comparative Effectiveness and Safety of Posterior Lumbar Interbody Fusion, Coflex, Wallis, and X-Stop for Lumbar Degenerative Diseases: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **172**, 74-81.

<https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2018.06.030>

- [48] Sobottke, R., Schlüter-Brust, K., Kaulhausen, T., Rölinghoff, M., Joswig, B., Stützer, H., *et al.* (2009) Interspinous Implants (X Stop[®], Wallis[®], Diam[®]) for the Treatment of LSS: Is There a Correlation between Radiological Parameters and Clinical Outcome? *European Spine Journal*, **18**, 1494-1503. <https://doi.org/10.1007/s00586-009-1081-y>
- [49] Wilke, H.J., Drumm, J., Häussler, K., Mack, C., Steudel, W.-. and Kettler, A. (2008) Biomechanical Effect of Different Lumbar Interspinous Implants on Flexibility and Intradiscal Pressure. *European Spine Journal*, **17**, 1049-1056. <https://doi.org/10.1007/s00586-008-0657-2>
- [50] Tsai, K.J., Murakami, H., Lowery, G.L., *et al.* (2006) A Biomechanical Evaluation of an Interspinous Device (Coflex) Used to Stabilize the Lumbar Spine. *Journal of Surgical Orthopaedic Advances*, **15**, 167-172.
- [51] 马宗军, 刘晓印, 张建群, 等. 三种腰椎固定融合术式治疗腰椎术后邻椎病的疗效对比分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2022, 32(12): 1102-1111.
- [52] Korovessis, P., Repantis, T., Zacharatos, S. and Zafiropoulos, A. (2009) Does Wallis Implant Reduce Adjacent Segment Degeneration above Lumbosacral Instrumented Fusion? *European Spine Journal*, **18**, 830-840. <https://doi.org/10.1007/s00586-009-0976-y>
- [53] 顾宏林. 棘突间动态稳定系统治疗腰椎间盘突出性疾病中长期疗效及存留率回顾性队列研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 南方医科大学, 2018.