

# 椎间盘退变与退行性腰椎滑脱及二者关系的研究进展

宋建南 孙贺\*

承德医学院附属医院脊柱外科 河北承德 067000

**摘要：**退行性腰椎滑脱是中老年群体腰痛和功能障碍的重要原因之一。由多种因素共同作用导致的椎间盘退变又在退行性腰椎滑脱的发生发展中起着关键作用。但两者之间的相互作用及影响一直存在争议，本文综述了椎间盘退变与退行性腰椎滑脱之间的相互关系，阐述了其病理生理机制，探讨了影像学表现及临床症状，旨在为今后的治疗策略和研究方向提供理论依据。

**关键词：**椎间盘退变；退行性腰椎滑脱；发病机制；诊断方法；治疗策略；研究进展

退行性腰椎滑脱 (Degenerative Lumbar Spondylolisthesis, DLS) 是一种由于退行性变化导致一个椎体在其下一个椎体上前移或后移位或滑动的疾病<sup>[1]</sup>，常伴腰痛、下肢放射痛等症状，严重影响患者的生活质量。椎间盘退变 (Intervertebral Disc Degeneration, IVDD) 在 DLS 的发生发展中至关重要，随年龄增长及其他外部因素作用下，其结构和功能逐渐改变，导致弹性与稳定性下降，从而诱发或加重腰椎滑脱<sup>[2,3]</sup>。本文对椎间盘退变，退行性腰椎滑脱，及二者之间的关系进行综述，以期对提高患者的诊疗水平和远期生活质量提供参考。

## 1. 椎间盘退变

### 1.1 椎间盘的定义及功能

椎间盘 (Intervertebral Disc, IVD) 是连接两个相邻椎体的软组织结构，为整个脊柱提供柔韧性和负荷传递，它可以增强椎体间的稳定性并平衡力分布和减震，主要作用包括负重以及配合脊柱完成屈伸、侧弯、旋转等动作<sup>[4]</sup>。整个椎间盘由凝胶状髓核，弹性纤维环和软骨终板组成。纤维环和髓核在两层椎板之间，承担机械负荷的柔韧性和弹性；软骨终板是薄层的透明软骨，充当髓核和椎骨之间的机械屏障，也是营养物质从邻近血管转运到椎间盘的门户<sup>[5]</sup>。

### 1.2 椎间盘退变的影响因素

椎间盘退变指因年龄增长、不良应力及椎间盘内部代谢失衡等因素导致椎间盘的结构及功能退化的过程<sup>[6]</sup>，主要由遗传因素、衰老、机械应力和损伤等因素引起<sup>[7]</sup>。

#### 1.2.1 遗传因素

有强烈的证据表明，IVD 变性可能归因于遗传因素<sup>[8]</sup>。

患有严重 IVD 变性的个体通常其家庭成员也会有椎间盘相关问题<sup>[10]</sup>。研究人员认为，一些细胞外基质 (ECM) 大分子的可变串联重复序列数 (VNTR) 或单核苷酸多态性 (SNP)，是遗传的主要因素，例如胶原蛋白 I、IX、XI 和聚集蛋白聚糖基因中存在基因突变和多态性会导致 IVDD 的机械性能发生变化，降低其抵抗损伤的能力，从而显著增加 IVDD 的风险。COL1A1 Sp1 多态性与 IVDD 风险相关，它们影响椎间盘中胶原纤维和蛋白多糖的结构和代谢，进而加速退变。此外，维生素 D 受体 (VDR) 基因的突变、基质金属蛋白酶 (MMP) 基因的表达增加或调控异常、ADAMTS 基因编码的蛋白水解酶异常表达都可能影响椎间盘退变。

#### 1.2.2 机械因素

肥胖会增加脊柱的机械负荷，使椎间盘承受过大的压力，进而加速其退变。BMI 升高时，退变水平的数量、椎间盘退化的整体严重程度和伴有椎间盘间隙变窄的终末期椎间盘退变 ( $P < 0.001$ ) 显著增加。一项横断面研究显示，椎间盘退变受试者的 BMI (平均  $23.3 \text{ kg/m}^2$ ) 显著高于无退变的受试者 (平均  $21.7 \text{ kg/m}^2$ ) ( $P < 0.001$ )。长期从事高强度的体力劳动或维持不良姿势 (如长时间弯腰或久坐) 也会导致椎间盘的磨损，增加其退变的风险。Dudli, S. 等人的研究表示，外力或者是剧烈运动所致的脊柱损伤甚至是骨折会破坏椎体和椎间盘之间的相互作用，从而导致 IVD 发生退变或突出。

1.2.3 其他因素 一些代谢类疾病如糖尿病、高血压、引起的氧化应激通过潜在诱导或加速炎症对椎间盘组织造成损伤。随着年龄的增长，椎间盘的退变会自然发生，细胞数

量减少、代谢活动下降,研究者发现与年轻受试者的细胞相比,从老年受试者分离的细胞在拉伸加载后更容易发生退行性变化,衰老还会加速软骨终板钙化和向四周侵蚀,阻碍临近血管向椎间盘输送养分。除此之外一些生活方式和环境因素如吸烟也可能影响椎间盘的健康。

### 1.3 椎间盘退变的评价方法

腰椎间盘退变肉眼可见的变化包括纤维环撕裂、髓核脱水、终板钙化、椎间盘高度下降、和骨赘形成为主要表现,这些改变可在影像学中体现。Fei Gao 等人认为核磁共振成像(MRI)是评估腰椎间盘退变的重要工具,它可以更好的捕捉软组织细节。临床中常用依据 T1、T2 加权序列 MRI 图像的 Pfirrmann 分级系统把椎间盘退变从信号强度、髓核形态、纤维环界限、椎间隙高度等方面分为 5 个等级(表 1)。该分级系统目前应用广泛,但也存在一些局限性,基于 MRI 的分析技术本质上是主观的,因此容易导致评价结果变异性高及可靠性较差。此外, Pfirrmann 分级未充分考虑纤维环、软骨终板等组织的微观病理变化,缺乏对临床功能性影响的评估,无法预测疾病进展。为此有研究者引入定量分析技术,发现 T2 映射和 T1 ρ 映射可以量化髓核的水分含量和蛋白多糖浓度,从而更精确地评价了椎间盘退变的程度,减少主观判断的偏差。Jamaludin, A. 等人研究发现,卷积神经网络(automated convolutional neural network, CNN)模型检测系统在椎间盘检测和标记方面达到 95.6% 的准确率,能产生与放射科医生的预测一致的多种病理分级。应用 CNN 对患者椎间盘进行评估,可以提高分级的客观性和分析速度,还可以引起放射科医生对退化区域的注意。

表 1 腰椎间盘退变 Pfirrmann 分级

分级	髓核结构	髓核与纤维环边界	髓核信号	椎间盘高度
I	均质,色亮白	清	高或等于脑脊液	正常
II	非均质,有或无水平带	清	高或等于脑脊液	正常
III	非均质,灰	不清	中等	正常或轻度降低
IV	非均质,灰或黑	消失	中等或低信号	正常或中度降低
V	非均质,黑	消失	低信号	椎间盘间隙塌陷

## 2. 退行性腰椎滑脱

DLS 是由椎间盘退变、小关节关节炎、韧带和肌肉稳定性下降、怀孕和体育活动等多因素共同作用引发的椎体退行性病变<sup>[1]</sup>。滑脱的椎体、增厚的黄韧带和突出的椎间盘随着椎体前移,椎管前后径变窄,压迫神经根或马尾神经,导致腰痛、下肢疼痛、麻木、间歇性跛行。流行病学显

示, DLS 多发于老年女性 L4-L5 节段,在 65 岁以上的人群中,女性 DLS 患病率约为 25.0%,男性患病率约为 19.1%。Willis 将退行性腰椎滑脱分为三个阶段:解剖学变化最小的功能异常阶段;涉及椎间盘、小关节和韧带进一步退化的不稳定阶段;通过骨赘和小关节和椎间盘纤维化形成的再稳定阶段,这三个阶段,包含了腰椎滑脱的演变过程及其相关影像学表现。大多数腰椎滑脱可通过 X 线诊断;CT 可见滑脱患者关节突的形态及关节病变、滑膜囊肿、真空椎间盘等特征;矢状面的 MRI T2 加权像可进一步显示滑脱的阶段、程度以及椎间盘的退变。

## 3. 椎间盘退变与退行性腰椎滑脱的关系

在理想状态下,脊柱通过维持一个中立、稳定的负重姿态,使身体重心的轴线均匀分布,确保最小的肌肉代偿和节段压力。椎间盘作为脊柱的主要承载结构,其退行性改变了脊柱的生物力学特性,Horst 和 Brinckmann 的研究发现,健康的腰椎间盘在压缩和偏心负荷(增加端板倾斜)的状态下将应力均匀地分布在终板上,而退行性椎间盘的偏心负荷产生不对称的力分布,这种不对称分布会随着退化的加重和终板倾斜度的增加而增加。椎间盘退变后,运动支点后移,导致作用在关节突关节上的应力增加,同时由于椎间隙变窄,关节突关节相互重叠,磨损严重,这些改变使腰椎在受到持续的外力作用时,尤其是在过度活动或负重的情况下,更容易发生滑脱。在退变的过程中,随着椎间盘高度的下降,脊柱的前、后柱之间的平衡被打破,导致韧带过度拉伸或松弛,使本就有滑脱趋势的椎体更加没了束缚。研究表明,椎旁肌的萎缩与椎间盘退变的程度高度相关,IVDD 不仅直接影响椎体间的稳定性,还通过对椎旁肌的作用加剧滑脱的风险。椎间盘退变会导致椎旁肌脂肪浸润增加,减少肌肉的有效横截面积,还可导致肌肉纤维的结构和功能异常,引起肌肉力量和耐力下降,使脊柱在动态活动中的稳定性下降,最终加剧了腰椎滑脱的发生和发展。综上,IVDD 对 DLS 发生发展的影响并不是一个独立的过程,而是一个链式反应,由椎间盘、小关节及周围的软组织结构共同作用。

## 4. 椎间盘退变对 DLS 患者治疗的影响

在临床上,椎间盘退变对退行性腰椎滑脱的非手术治疗带来一定的挑战。保守治疗方法,如佩戴支具、运动康复、非甾体抗炎药(NSAID)和神经阻滞注射等,可以短期缓解症状,但不能根除问题。然而,当椎间盘高度显著丧失、

椎间隙进一步缩小时，神经根及其他脊柱结构的压迫往往加重，导致神经源性跛行、进行性神经功能缺损、大小便功能障碍，使得非手术疗法难以有效缓解症状。此时，即使通过保守治疗暂时减轻负荷，仍然难以恢复椎间盘的高度和稳定性，就需要及时的手术干预。

在手术治疗的背景下，椎间盘退变的严重程度直接影响手术策略的制定和长期预后。对于早期退变和轻中度滑脱患者，主要以神经根性疼痛为主要症状，且影像学上无椎体不稳，单纯椎板切除减压通常可以取得良好的效果，而不需要进行广泛的稳定性重建。然而，当椎间盘显著退变且滑脱加重时，单纯的减压手术可能无法恢复脊柱的稳定性，甚至可能导致术后再滑脱风险增加。因此，针对退变严重的病例，如示椎间盘高度丢失  $> 2\text{mm}$ ，滑脱节段异常活动  $> 5\text{mm}$ ，通常需要通过腰椎融合固定（如 TLIF 或 PLIF）来恢复椎间高度，减轻神经压迫，提供长期的稳定性<sup>[3]</sup>。腰椎融合术尽管效果确切，但也增加了邻近节段退变 (ASD) 的风险，Masayuki 等人的研究发现，有额外减压手术的节段的 ASD 发生率显著高于没有额外减压手术的节段，因而手术指征和融合节段的选择应慎重。

另外，椎间盘退变对手术后的愈合和功能恢复也有潜在影响。椎间盘退变严重的患者软骨终板的结构破坏和局部炎症因子的增多，抑制骨性愈合，延长椎间融合的时间，并增加伪关节形成的风险；椎间高度丧失导致植骨量减少，使椎间稳定性恢复受限，特别是对于高龄或骨质疏松的患者更为明显。为了改善患者的长期预后，未来通过调控退变微环境和改善椎间盘修复能力，提升术后愈合效率和功能恢复水平。

## 5. 总结与展望

综上所述，椎间盘退变与退行性腰椎滑脱密切相关，遗传、机械损伤、炎症因子等因素加速椎间盘的退化，退化的椎间盘导致腰椎稳定性下降致腰椎失衡并加剧滑脱的发生。在 DLS 的诊疗过程中，医者需充分结合影像学资料，评估椎间盘退变、关节退变、关节突积液、真空椎间盘等椎体不稳定标志，可在术前识别潜在的风险患者，并采取相应的干

预措施，减少术后并发症的发生。

## 参考文献：

- [1] Wang, Y.X.J., et al., Lumbar degenerative spondylolisthesis epidemiology: A systematic review with a focus on gender-specific and age-specific prevalence. *J Orthop Translat*, 2017. 11: p. 39-52.
- [2] Saremi, A., et al., Evolution of lumbar degenerative spondylolisthesis with key radiographic features. *Spine J*, 2024. 24(6): p. 989-1000.
- [3] Sengupta, D.K. and H.N. Herkowitz, Degenerative spondylolisthesis: review of current trends and controversies. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005. 30(6 Suppl): p. S71-81.
- [4] Diwan, A.D., et al., Current concepts in intervertebral disc restoration. *Orthop Clin North Am*, 2000. 31(3): p. 453-64.
- [5] Pattappa, G., et al., Diversity of intervertebral disc cells: phenotype and function. *J Anat*, 2012. 221(6): p. 480-96.
- [6] 董亦直, et al., 椎间盘退变中胶原蛋白的代谢失衡. *中国组织工程研究*, 2025. 29(14): p. 3011-3019.
- [7] Oichi, T., et al., Pathomechanism of intervertebral disc degeneration. *JOR Spine*, 2020. 3(1): p. e1076.
- [8] Ou-Yang, D.C., C.J. Kleck, and C.L. Ackert-Bicknell, Genetics of Intervertebral Disc Degeneration. *Curr Osteoporos Rep*, 2023. 21(1): p. 56-64.
- [9] Ravichandran, D., J. Pillai, and K. Krishnamurthy, Genetics of intervertebral disc disease: A review. *Clin Anat*, 2022. 35(1): p. 116-120.
- [10] Frino, J., et al., Trends in adolescent lumbar disk herniation. *J Pediatr Orthop*, 2006. 26(5): p. 579-81.

## 作者简介：

宋建南，1997 年 4 月 25 日，男，蒙古族，河北省承德市人，硕士研究生，研究方向脊柱外科。

通讯作者：孙贺（1967-），男，汉族，河北省承德市人，硕士，主任医师，研究方向为脊柱外科。