

关节突关节方向与退行性腰椎滑脱关系的研究进展

曾 成^{1,2}, 秦 毅^{1,2}, 张兆飞^{1,2*}

1. 广东医科大学第一临床医学院, 广东湛江 524023

2. 珠海市人民医院脊柱骨科, 广东珠海 519000

摘 要: 退行性腰椎滑脱(degenerative lumbar spondylolisthesis, DLS)是指在脊柱退变基础上,整个上位椎体(椎体和椎体后部,包括椎弓根和关节突关节)相对于下位椎体出现的滑移的疾病。目前,在临床上DLS是导致中老年人出现腰腿痛的常见疾病。但其发病机制尚未明了,特别是关节突关节方向的变化在退行性椎体滑移发病机制中的作用一直存在争议。因此,该文阐述了关节突关节方向的变化与退行性腰椎滑脱之间因果关系的研究进展。

关键词: 关节突关节; 退行性腰椎滑脱; 关节突关节方向; 发病机制

DOI:10.20227/j.cnki.2096-3610.2025.01.014

Research progress on the relationship between facet joints orientation and degenerative lumbar spondylolisthesis

ZENG Cheng^{1,2}, QIN Yi^{1,2}, ZHANG Zhao-fei^{1,2*}

1. The First Clinical Medical College, Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China

2. Department of Spinal Orthopedics Zhuhai People's Hospital, Zhuhai 519000, China

Abstract: Degenerative lumbar spondylolisthesis (DLS) refers to a disease in which the entire upper vertebral body (vertebral body and posterior part of vertebral body, including pedicle and facet joints) slides relative to the lower vertebral body on the basis of spinal degeneration. Currently, DLS is also a prevalent clinical condition that causes lower back and leg pain in middle-aged and elderly people. With the aging of our society, especially the increasing number of middle-aged and elderly people suffering from degenerative lumbar spondylolisthesis, this condition has caused a huge medical burden on our society. It is imperative to study the risk factors and pathogenesis of lumbar spondylolisthesis. However, its pathogenesis remains unclear, and especially, the role of changes in the facet joint orientation in the pathogenesis of degenerative vertebral slip has been controversial. This article provides a review of the research progress on the causal relationship between changes in the facet joint orientation and degenerative lumbar spondylolisthesis.

Key words: facet joint; degenerative lumbar spondylolisthesis; facet joint orientation; pathogenesis

退行性腰椎滑脱(degenerative lumbar spondylolisthesis, DLS)是一种由于腰椎退行性变化引起运动节段的上位椎体向前或向后滑动,不同于椎弓峡部裂所引起的真性滑脱,发生在椎弓结构完整脊椎滑移,也被称为假性滑脱^[1]。DLS是发生于骨科临床上的常见病、多发病^[2]。一项研究表明,DLS患病率具有很强的年龄和性别特异性,好发于50岁以上的中老年人群^[3],且女性较男性更容易发生DLS^[4]。DLS好发于下腰椎,大多数为L4/5节段^[5],且以I度

滑脱为主,很少超过II度^[6]。目前DLS的危险因素及发病机制尚未完全明了,可能导致DLS的主要局部原因有:椎间盘退变引起节段不稳定^[7];关节突关节角(facet joint angle, FJA)更偏向矢状化、椎弓根—关节突角水平化^[8];椎旁肌乏力、韧带松弛等影响脊柱稳定性的成分失效^[9-10]。随着CT成像技术的发展,尤其是多层面重建(multiplanar reformation, MPR)技术的成熟,国内外文献中对可能导致退行性腰椎滑脱的解剖因素也进行了分析,其中对腰椎

收稿日期: 2024-08-08

基金项目: 珠海市人民医院香山英才项目(2021XSYC-01)

作者简介: 曾 成,男,在读硕士研究生,E-mail:15809905127@163.com

通信作者: 张兆飞,男,硕士研究生导师,副主任医师,E-mail:zzfhanyang@126.com

滑脱患者关节突关节方向(facet joint orientation, FJO)偏向矢状化成为关注热点。因此,笔者查阅近年来国内外最新文献,将关于FJO的改变与DLS之间因果关系的研究进展综述如下。

1 DLS的危险因素及病理机制

1.1 危险因素

DLS的危险因素及病理机制目前不是很清楚。国内外文献已报道许多导致DLS的危险因素。有研究表明,在两性中DLS的发病率随着年龄的增长而增加^[11]。事实上,在50岁以下的特征性改变并不常见,但随着年龄增长,DLS的患病率急剧升高,影响到多达15%的男性和超过50%的女性,年龄在66~70岁^[3, 12]。Wang等^[13]研究也报道更年期可导致女性患DS的风险增加。Chen等^[13]通过研究DLS组纳入L4退行性滑脱(DLS)患者60例,而对照组为招募56例健康志愿者,采用多因素logistic回归分析揭示DLS发生的危险因素,发现DLS与L4椎体倾斜角(L4-VA)、骨盆入射(PI)、L4椎体大小(L4-VS)、腰椎前凸角(LLA)、头尾关节小关节成角(FJA)等指标显著相关,它们可能是DLS发展的危险因素。同样,Guo等^[14]在评价DLS的危险因素研究中也证明L4倾斜角(IA)越大($>11.15^{\circ}$)且矢状化的关节突关节角($>60.19^{\circ}$)越多,关节突关节退变程度越严重均是DLS的重要指标。高泽等^[8]在对退行性滑脱患者的关节突关节形态改变的回顾性研究中,证实伴有DLS的椎管狭窄症患者较腰椎管狭窄症患者有更矢状化、水平化的关节突关节方向改变。

1.2 病理机制

目前一般认为腰椎退变是DLS发生的启动因素。国内学者万青松等^[15]指出椎间盘的退变是导致退行性腰椎滑脱的首发因素,其退变进一步引起椎间隙的狭窄、椎体下沉、关节突关节囊及韧带出现松弛,从而导致椎体微环境稳定的失衡。存在上述可能的致病因素,如关节突角的矢状化及椎弓根—关节突角的水平化,降低了下位椎体的上关节突对抗椎体之间的剪切应力,从而导致上位椎体出现逐渐的向前滑移。有学者研究发现,在L4/5的关节突关节角大于 45° 的个体,其发生滑脱的发病率是小于 45° 个体的25倍^[16]。但也有学者持反对观点,认为关节角增大是滑脱发生后关节突二次塑形的结果^[17]。另外,腰椎滑脱发生后,椎体间出现骨赘形成、韧带肥厚骨化等再稳定机制,以及滑脱导致椎管的矢状径减小,最终都可能导致腰椎管狭窄,进

而导致DLS患者出现腰痛伴或不伴神经根痛等神经压迫症状^[18]。

2 腰椎关节突关节的解剖及生物力学特点

腰椎关节突关节(lumbar facet joint, LFJ)又称腰椎小关节是由邻近椎体的上下关节突构成的腰椎后外侧关节,是腰椎承载运动过程中维持稳定的重要结构^[19]。LFJ是一个真正的滑膜关节,由关节面、关节腔及关节囊构成,每个小关节腔能容纳1.0~1.5 mL关节液使得关节在运动过程中保持平滑的活动^[20],是腰椎运动节段的重要组成。从LFJ关节面解剖特点来看,上关节突的关节面是呈凹面分布,而下关节突的关节面是呈凸面分布,因此,成人的LFJ关节面方向是一个复杂的三维空间方向。在不同的腰椎节段关节面的方向也存在差异,总体上从上关节面的冠状位逐渐过渡到下关节面的矢状位^[21]。小关节被一个关节囊包起来,这个关节囊的外层是由平行的胶原纤维束组成的致密规则的结缔组织,其内层由类似于黄韧带的弹性纤维束组成^[22]。在LFJ生物力学方面发现,两侧的LFJ和椎间盘不仅共同起到提供承重辅助器和稳定运动段的作用,而且通过控制各运动平面的活动范围来降低对脊柱的损伤^[23]。LFJ也是一种功能性关节,它维持每个椎体节段的功能性脊柱单元中脊柱运动的稳定性,并支撑约6%~30%的轴向压缩负荷^[24]。Qian等^[25]选取3例无脊柱相关疾病的健康成年男性进行3D-CT扫描以获得腰椎参数,应用模拟软件构建腰椎三维有限元模型,腰5左上关节突的分级切除术(1/4、2/4、3/4和4/4)则通过经椎间孔内窥镜腰椎间盘切除术进行,然后,发现腰椎模型在不同切除术中的正常伸展、侧屈和旋转运动中均存在明显差异,因此,他们得出腰椎的生物力学和稳定性在上关节突切除1/4后发生部分改变,在切除2/4以上后明显改变。

3 FJO的测量方法

FJO是指相邻椎体的上下关节突形成的关节间隙相对于脊柱的冠状位或矢状位的方向^[26],为了更好地研究FJO的空间变化,目前众多学者提出用FJA的度数来量化FJO在空间方向的变化情况^[8, 27]。随着影像技术的飞速发展,国内外研究者对FJA的测量设备、方法及选择的层面进行不断的改进。

3.1 FJO在X线平片上的测量方法

陈新军等^[28]提出因腰椎小关节面从上下观呈平

面,因此在X线平片上选择小关节与水平面的夹角即小关节倾斜角来代表FJO准确性更高。但国外学者Kalichman等^[29]指出在X线片,特别是没有斜位视图的X线片价值有限,斜位X线片上观察小关节形态的敏感性仅为55%,特异性仅为69%。小关节是在一个倾斜的位置,且在横断面上小关节面是一个弯曲的曲面。因此,即使在X线斜位片上,也只能显示同侧小面关节的一部分。因此,在X线斜位片上通过小关节倾斜角表示FJO存在明显局限性。

3.2 FJO在CT图像上的测量方法

与标准X线片相比,CT平扫改善了LFJ的描绘,因为它能够在轴向面成像关节,并且骨结构和周围软组织之间具有高对比度^[30]。由于CT具有最佳的切片平面和对骨组织、软组织结构进行成像的能力,可以更精确地显示骨骼细节^[31],在骨窗下不仅更清晰地评估关节突关节退变程度,同时可以在横断位图像上更精确地测量FJA,并提出CT扫描是评估腰椎小关节退变过程和观察形态改变的最佳检查方法^[29]。李永新等^[32]指出观察DLS患者的小关节形态,相比X线片,在CT扫描图像上关节突关节形态更加清晰,测量关节突关节面冠状位角和评估关节突关节退变程度将更加准确。孙永进等^[33]在探究关节突关节角的矢状化以及退变程度与退行性腰椎滑脱的关系时,同样采用CT扫描图像。Grobler等^[34]在正常腰椎小关节内从近端到远端选取5个位置的CT断层作为测量平面,发现经过下位椎体后缘且平行上缘终板的CT断层作为测量平面时都具有最大的跨关节尺寸,使得点的标记更容易,也因为更容易从多个CT图像中被定义,认为该平面是研究关节突关节形态的最佳代表,也是众多学者在研究中常选择的测量层面。同时,提出以小关节间隙的前内侧和后外侧点连线,脊柱椎体后缘做连线,以两连线的夹角,即关节面与脊柱椎体的冠状位的夹角定义为关节突关节角,但目前对于定义FJO偏向矢状位或冠状位角度的界限尚未达成一致。Smorgick等^[35]定义FJA>50°时为FJO明显矢状化。而Boden等^[16]和Grobler等^[34]则以45°为界,FJA≥45°为偏向矢状位,反之<45°为偏向冠状位。

事实上,小关节突关节复合体由头椎的下关节面和尾椎的上关节面构成。在腰椎,下关节面朝向前外侧,而上关节面朝向后内侧,形成一个从后外侧到前内侧的关节平面^[34],可见腰椎小关节面从头端到尾端的空间走向并不均匀,因此仅在单一层面通过测量FJA来描述FJO的空间变化存在明显局限

性。随着多排螺旋CT扫描对图像进行MPR技术的成熟,关节突关节的三维结构重建成为可能,因此,目前研究者在描述FJO的空间变化时往往更倾向于分别测量头、尾端关节突关节角。Toyone等^[36]首先提出在CT平扫图像上取平行上、下缘终板横断面测量腰椎小关节头端和尾端的FJA,但他们的测量方法在LFJ的头、尾端定位平面上缺乏客观指标。Gao等^[37]是迄今为止第一次在CT上使用MPR技术研究DLS患者矢状位小关节[椎弓根-关节突角(P-F角)]的形态。虽然P-F角已在平片上测量,但由于技术上的限制,难以获得双侧的测量;而借助CT的MPR技术能够实现重建腰椎小关节的二维图像,并从矢状位更好地观察关节突关节的形态,可以更加精确测量左右双侧P-F角。杨家赵等^[38]在探究DLS与头尾侧FJO的关系中,首次采用CT图像的MPR技术研究头尾端关节突关节方向和椎弓根-关节突角的变化,从头尾端方向、矢状位上进一步描述FJO的空间结构,并提出关节突关节的头、尾端的定位平面,采取平行于椎间隙上缘终板的CT横断位图像作为头端;而尾端则是通过椎弓根下缘且平行于椎间隙下缘终板的CT横断位图像被定义。从DLS的发病机制可知,DLS的发生不单纯是椎体向前或向后的滑移,而是滑脱椎体的退变导致相应运动节段出现不稳,外加关节突关节的三维空间结构发生的改变,最终出现滑脱。因此通过CT的MPR技术实现对头、尾端关节突关节角的测量来进一步描述FJO的空间走向,有望成为今后研究的新方法。

4 DLS与FJO的因果关系

目前多数文献报道,关节突关节方向的矢状化与DS之间存在关联,但存在两种不同的观点:一种观点认为FJO的矢状化视为病因学因素,而不是腰椎滑脱发生的继发性结果^[27, 33];而另一种观点则认为,FJO偏向矢状位的形态学变化是DS发生过程中重新塑形的结果,而非原发病因^[17, 39]。

4.1 FJO偏向矢状位是DLS的病因学因素

腰椎小关节在稳定节段性脊柱单位方面起着重要作用^[40]。当小关节的锁定机制失效时,就会发生腰椎滑移^[29]。黄磊涛等^[27]在X线和CT扫描研究退行性腰椎滑脱和腰椎小关节矢状化的相关性研究,发现腰椎小关节矢状化可能是发生DLS的风险因素之一。Boden等^[16]在对确认FJA与退行性椎体滑脱之间是否存在关联的研究中,发现DLS患者

L4/5滑脱节段及邻近非滑脱节段的FJA均较对照组(正常人)有显著差异,DLS患者的FJO更偏向矢状位,且差异最大的是在滑脱节段L4/5水平($P=0.000\ 001$);同时,进一步得出当L4/5水平的小关节面相对于脊柱椎体冠状面超过 45° 的个体,其发生退行性椎体滑脱的可能性增加25倍;因此,他们认为FJO的矢状化可能是导致DLS发生预先存在的病因学因素。Grobler等^[34]同样对退行性腰椎滑脱患者的研究中发现滑脱组无论是滑脱节段,还是邻近的正常节段,均存在FJO较对照组明显偏向矢状位,因此认为DLS患者易患关节突关节发育偏向矢状化,即FJO的矢状化是DLS的病因。结合关节突关节解剖及生物力学研究特点,当小关节面偏向矢状位,其对上位椎体前滑移的机械阻挡作用明显降低,腰椎运动节段出现不稳^[41],易导致腰椎滑脱。杨贤玉等^[42]在选择年龄、性别相匹配DLS患者与非DLS的正常人,也同样发现DLS患者存在FJO较对照组更偏向矢状位,并指出这种关节突关节的矢状化改变,减少腰椎小关节在冠状位方向的接触面积,导致对抗上位椎体向前滑移的剪切应力明显降低,从而使上位椎体逐渐向前而发生前滑脱。在腰椎的有限元(FE)模型中分析发现,小关节的方向偏向于矢状位越强,其抵抗椎体前滑移的力量越弱,外加体重指数、骨盆倾斜角升高和椎间盘退变等因素导致剪切力明显增加时,在异常的前剪切力作用下,矢状化的关节突关节难以抵抗上位椎体向前滑移的力量,导致椎体出现前滑脱,因此认为FJO偏向矢状化对于腰椎滑脱的发生具有预测价值^[43]。Schuller等^[44]亦通过研究小关节的矢状方向和骨关节炎、脊柱骨盆矢状位失衡等是否在DLS的发病机制中发挥作用,发现仅存在FJO偏向矢状位不足以导致椎体的滑移,还与显著增加的骨盆倾斜角、骶骨坡度及身体质量指数等导致椎体向前的剪切力增加相关。因此,在一些因素导致腰椎的上位椎体向前的剪切力突然增大时,从而使得关节突关节方向原本偏向矢状位的个体发生腰椎滑脱的风险,可能进一步加大。

4.2 FJO偏向矢状位是DLS的重塑结果

因未能对DLS患者发病前的关节突关节情况的了解,所以有学者认为FJO偏向矢状位可能是DLS发生过程中重塑的结果。李永新等^[32]研究表明,与对照组(正常人)相比,DLS组患者的FJO明显偏向矢状位,还发现左右侧的FJA与滑脱程度无相关性,因此,认为FJO偏向矢状是DLS的结果。而

Berlemann等^[45]通过研究DLS患者的下腰椎节段在横切面的FJA,并将其与三个不同年龄组的无滑脱的患者进行了比较,最终结果显示,与无DLS的患者相比,DLS患者仅在L4/5水平的小关节方向的矢状化发生率明显增高,差异存在显著性,这与Boden等^[16]和Grobler等^[34]的研究结果均不相同;同时,与对照组相比,DLS组在L4/5节段关节突关节退变程度明显加重,因此他们认为这种差异更可能是由于关节定向的继发性重塑,而不是先前存在的形态学特征。Leng等^[17]在研究DLS患者与LFJ形态的相关性研究中发现,与对照组相比,DLS组患者的椎弓根—关节突角更多是偏向水平位,FJO更多偏向矢状位以及关节突关节退变明显加重,因此,他们得出这种关节突关节形态改变,是退行性腰椎滑脱发生后关节突关节退变重塑的结果。Inoue等^[46]的研究报道也证实,小关节是真正的滑膜关节,可以经历类似于其他滑膜关节的退行性变化,并指出当小关节出现退行性变会导致其骨关节炎的改变,这种现象与DLS有关。另外,Li等^[47]在比较了器官捐献者样本的腰椎大体和组织学特征,以及通过MRI评估的相关椎间盘(IVD)的完整性,在他们的研究中证实小关节退变最早可出现在15岁时,是一种比较常见的现象,并提出关节突关节退变在L4/5水平更为严重,并随着年龄的增长而逐渐加重。Wang等^[48]则通过对不同年龄组DLS患者L4/L5水平腰椎小关节方向的测量和分析,探讨年龄与腰椎小关节方向之间的相关性,结果也发现DLS患者FJO的矢状化程度随着年龄的增长而增加。Yao等^[49]在研究退行性腰椎滑脱患者的腰椎小关节运动中发现,与健康受试者相比,DLS患者在L4/L5水平的小关节矢状面取向显著增加,并指出随着椎间盘以及关节突关节的退行性改变,使得腰椎关节突关节在人体过度的屈伸、旋转运动中所承担的负荷将明显增加,从而引起关节软骨磨损、软骨下骨硬化及骨赘形成、小关节增生内聚,从而导致在横断面上FJO更加偏向于矢状位。因此,他们认为这种改变是腰椎滑脱过程中LFJ在应力作用下退变和重塑的结果。

总结上述,在探究矢状化的FJO与DLS的因果关系时,应充分考虑到由于腰椎关节突关节的退行性变化对关节突关节形态学的影响,同时,还应考虑导致DLS的一些其他局部原因和危险因素,因为退行性腰椎滑脱的发生是多因素共同导致的。

5 小结及展望

总之,随着对退行性腰椎滑脱的危险因素和病理机制的进一步研究,同时,对LFJ的解剖及生物力学特点以及FJO的测量方法等方面的研究进展的深入,本文对于腰椎小关节的形态改变在DLS发生过程中所起作用的认识更加深刻。另外,由于目前未能对具有矢状化关节突关节的年轻患者进行长期随访,观察患者在老年时出现退行性腰椎滑脱后关节突关节形态学情况,因此,关于矢状化的FJO与DLS的因果关系还存在争议,需要后期进一步研究完善。

参考文献:

- [1] 石震,鲁齐林. 峡部裂与退变性腰椎滑脱症及其后路融合手术干预[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2022, 30(4): 76-78.
- [2] 罗凯航,刘少喻. 退行性腰椎滑脱治疗方法的研究进展[J]. 骨科临床与研究杂志, 2024, 9(2): 121-124.
- [3] WANG Y X J, KÁPLÁR Z, DENG M, et al. Lumbar degenerative spondylolisthesis epidemiology: a systematic review with a focus on gender-specific and age-specific prevalence[J]. J Orthop Translat, 2017, 11: 39-52.
- [4] MAZUREK M, KULESZA B, GOŁĘBIEWSKA N, et al. Factors predisposing to the formation of degenerative spondylolisthesis-a narrative review[J]. Medicina (Kaunas), 2023, 59(8):1430.
- [5] HE L C, WANG Y X, GONG J S, et al. Prevalence and risk factors of lumbar spondylolisthesis in elderly Chinese men and women[J]. Eur Radiol, 2014, 24(2): 441-448.
- [6] KOBAYASHI H, ENDO K, SAWAJI Y, et al. Global sagittal spinal alignment in patients with degenerative low-grade lumbar spondylolisthesis[J]. J Orthop Surg (Hong Kong), 2019, 27(3): 2309499019885190.
- [7] CAI X Y, SUN M S, HUANG Y P, et al. Biomechanical effect of L(4) -L(5) intervertebral disc degeneration on the lower lumbar spine: a finite element study[J]. Orthop Surg, 2020, 12(3): 917-930.
- [8] 高泽,李凯,薛旭红,等. 关节突关节形态在有无合并退行性滑脱的腰椎管狭窄症患者中的差异性研究[J]. 中国骨与关节杂志, 2024, 13(3): 209-218.
- [9] WANG G, KARKI S B, XU S, et al. Quantitative MRI and X-ray analysis of disc degeneration and paraspinal muscle changes in degenerative spondylolisthesis[J]. J Back Musculoskelet Rehabil, 2015, 28(2): 277-285.
- [10] KÖHLI P, SCHÖNNAGEL L, HAMBRECHT J, et al. The relationship between paraspinal muscle atrophy and degenerative lumbar spondylolisthesis at the L4/5 level[J]. Spine J, 2024, 24(8): 1396-1406.
- [11] FERRERO E, OULD-SLIMANE M, GILLE O, et al. Sagittal spinopelvic alignment in 654 degenerative spondylolisthesis [J]. Eur Spine J, 2015, 24(6): 1219-1227.
- [12] KORECKIJ T D, FISCHGRUND J S. Degenerative spondylolisthesis[J]. J Spinal Disord Tech, 2015, 28(7): 236-241.
- [13] CHEN Q, DING W, SHEN Y, et al. Correlation between the 4th lumbar degenerative spondylolisthesis and radiographic parameters[J]. Zhonghua Wai Ke Za Zhi, 2014, 52(2): 122-126.
- [14] GUO M, KONG C, SUN S, et al. Predictors of L4-L5 degenerative lumbar spondylolisthesis: L4 inclination angle and facet joint angle[J]. World Neurosurg, 2019, 130: e680-e686.
- [15] 王青松,马刚,李世荣. 仰卧位MRI检测下腰椎小关节积液与退变性腰椎滑脱稳定性的相关性研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(10): 145-147.
- [16] BODEN S D, RIEW K D, YAMAGUCHI K, et al. Orientation of the lumbar facet joints: association with degenerative disc disease[J]. J Bone Joint Surg Am, 1996, 78(3): 403-411.
- [17] LENG Y, TANG C, HE B, et al. Correlation between the spinopelvic type and morphological characteristics of lumbar facet joints in degenerative lumbar spondylolisthesis[J]. J Neurosurg Spine, 2023, 38(4): 425-435.
- [18] HOU Y, SHI H Y, SHI H Y, et al. The clinical effectiveness and complications of lumbar selective fenestration and concave-side fusion (LSFCF) in degenerative lumbar scoliosis (DLS) combined with lumbar spinal stenosis (LSS) [J]. BMC Surg, 2022, 22(1): 405.
- [19] 文王强,徐浩翔,张泽佩,等. 腰椎小关节退变的相关因素及生物力学特点[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(24): 3883-3889.
- [20] GLOVER J R. Arthrography of the joints of the lumbar vertebral arches[J]. Orthop Clin North Am, 1977, 8(1): 37-42.
- [21] ALONSO F, KIRKPATRICK C M, JEONG W, et al. Lumbar facet tropism: a comprehensive review[J]. World Neurosurg, 2017, 102: 91-96.
- [22] YOO Y M, KIM K H. Facet joint disorders: from diagnosis to treatment[J]. Korean J Pain, 2024, 37(1): 3-12.
- [23] CLAESON A A, BAROCAS V H. Computer simulation of lumbar flexion shows shear of the facet capsular ligament[J]. Spine J, 2017, 17(1): 109-119.
- [24] PARK J S, GOH T S, LEE J S, et al. Analyzing isolated degeneration of lumbar facet joints: implications for degenerative instability and lumbar biomechanics using finite element analysis[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2024, 12: 1294658.
- [25] QIAN J, YU S S, LIU J J, et al. Biomechanics changes of

- lumbar spine caused by foraminotomy via percutaneous transforaminal endoscopic lumbar discectomy[J]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2018, 98(13): 1013-1018.
- [26] 杨家赵, 方诗元. 关节突关节方向在退变性腰椎滑脱中的作用研究进展[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2014, 28(4): 517-521.
- [27] 黄磊涛, 吴霞, 赖琦, 等. 腰椎小关节矢状化与退行性腰椎滑脱的相关性研究[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2017, 31(11): 1354-1357.
- [28] 陈新军, 郭开今. 椎板和小关节倾斜角与退变性腰椎滑脱的关系[J]. *江苏大学学报(医学版)*, 2009, 19(6): 530-531, 537.
- [29] KALICHMAN L, HUNTER D J. Lumbar facet joint osteoarthritis: a review[J]. *Semin Arthritis Rheum*, 2007, 37(2): 69-80.
- [30] DU R, XU G, BAI X, et al. Facet joint syndrome: pathophysiology, diagnosis, and treatment[J]. *J Pain Res*, 2022, 15: 3689-3710.
- [31] RUIZ SANTIAGO F, LÁINEZ RAMOS-BOSSINI A J, WÁNG Y X J, et al. The value of magnetic resonance imaging and computed tomography in the study of spinal disorders[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2022, 12(7): 3947-3986.
- [32] 李永新, 尹利荣, 王沛, 等. 关节突关节形态与退行性腰椎滑脱的关系[J]. *天津医科大学学报*, 2010, 16(1): 87-89, 92.
- [33] 孙永进, 张文志, 李旭, 等. 关节突关节角变化与退变性腰椎滑脱间关系的研究[J]. *颈腰痛杂志*, 2016, 37(6): 465-469.
- [34] GROBLER L J, ROBERTSON P A, NOVOTNY J E, et al. Etiology of spondylolisthesis. Assessment of the role played by lumbar facet joint morphology[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1993, 18(1): 80-91.
- [35] SMORGICK Y, MIROVSKY Y, FISCHGRUND J S, et al. Radiographic predisposing factors for degenerative spondylolisthesis[J]. *Orthopedics*, 2014, 37(3): e260-264.
- [36] TOYONE T, OZAWA T, KAMIKAWA K, et al. Facet joint orientation difference between cephalad and caudad portions: a possible cause of degenerative spondylolisthesis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(21): 2259-2262.
- [37] GAO F, HOU D, ZHAO B, et al. The pedicle-facet angle and tropism in the sagittal plane in degenerative spondylolisthesis: a computed tomography study using multiplanar reformations techniques[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2012, 25(2): E18-22.
- [38] 杨家赵, 方诗元, 夏睿, 等. 头尾侧关节突关节方向与退变性腰椎滑脱病因关系的研究[J]. *中国矫形外科杂志*, 2013, 21(21): 2127-2132.
- [39] 孙永进, 张文志, 李旭, 等. 关节突关节角变化与退变性腰椎滑脱间关系的临床研究[J]. *中华解剖与临床杂志*, 2015(4): 298-301.
- [40] ALMEER G, AZZOPARDI C, KHO J, et al. Anatomy and pathology of facet joint[J]. *J Orthop*, 2020, 22: 109-117.
- [41] 陈宏亮, 丁文元, 李宝俊, 等. 腰椎关节突关节退变的影像学改变及意义[J]. *中国矫形外科杂志*, 2009, 17(19): 1482-1485.
- [42] 杨贤玉, 王吉兴. 腰椎关节突关节的方向和退变程度对退行性腰椎滑脱的影响[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2009, 19(1): 52-55.
- [43] KIM H J, CHUN H J, LEE H M, et al. The biomechanical influence of the facet joint orientation and the facet tropism in the lumbar spine[J]. *Spine J*, 2013, 13(10): 1301-1308.
- [44] SCHULLER S, CHARLES Y P, STEIB J P. Sagittal spinopelvic alignment and body mass index in patients with degenerative spondylolisthesis[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(5): 713-719.
- [45] BERLEMANN U, JESZENSZKY D J, BÜHLER D W, et al. Facet joint remodeling in degenerative spondylolisthesis: an investigation of joint orientation and tropism[J]. *Eur Spine J*, 1998, 7(5): 376-380.
- [46] INOUE N, ORÍAS A A E, SEGAMI K. Biomechanics of the lumbar facet joint[J]. *Spine Surg Relat Res*, 2020, 4(1): 1-7.
- [47] LI J, MUEHLEMAN C, ABE Y, et al. Prevalence of facet joint degeneration in association with intervertebral joint degeneration in a sample of organ donors[J]. *J Orthop Res*, 2011, 29(8): 1267-1274.
- [48] WANG J, YANG X. Age-related changes in the orientation of lumbar facet joints[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(17): E596-598.
- [49] YAO Q, WANG S, SHIN J H, et al. Lumbar facet joint motion in patients with degenerative spondylolisthesis[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2013, 26(1): E19-27.

(责任编辑:李阳飞)