

腰椎峡部裂分型研究进展

王 炯

中国人民解放军95990部队医院, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年12月21日; 录用日期: 2025年1月14日; 发布日期: 2025年1月23日

摘 要

腰椎峡部裂是导致腰痛及腰椎滑脱的重要因素, 其分型对于深入了解疾病、制定精准治疗方案及判断预后具有关键意义。本文综合阐述了腰椎峡部裂基于病因学、影像学等多种分型方法的研究进展, 旨在为腰椎峡部裂诊治提供思路。

关键词

腰椎峡部裂, 分型

Research Progress on Classification of Lumbar Spondylolysis

Jiong Wang

China People's Liberation Army Unit 95990 Hospital, Urumqi Xinjiang

Received: Dec. 21st, 2024; accepted: Jan. 14th, 2025; published: Jan. 23rd, 2025

Abstract

Lumbar isthmus is an important factor leading to low back pain and lumbar spondylolisthesis. Its classification is crucial for in-depth understanding of the disease, formulating precise treatment plans and judging prognosis. This article comprehensively reviews the research progress of lumbar spondylolysis based on various classification methods such as etiology and imaging, aiming to provide ideas for the diagnosis and treatment of lumbar spondylolysis.

Keywords

Lumbar Spondylolysis, Classification



1. 引言

腰椎峡部裂是指腰椎椎弓上下关节突之间的峡部骨质缺损的一种病变[1]。它在临床上较为常见，尤其在青少年运动员及军人等人群中发病率较高[2]。随着对腰椎峡部裂研究的不断深入，其分型也日益多样化和精细化，不同分型从不同角度揭示了疾病的本质特征，为临床决策提供了重要依据。

2. 病因学分型

2.1. 先天性峡部裂

先天性腰椎峡部裂被认为与胚胎发育异常密切相关。在胚胎时期，椎弓峡部的骨化中心发育过程中若出现融合障碍，便会导致先天性峡部裂的形成[3]。研究表明[4]，部分患者存在家族遗传倾向，基因层面的异常可能在其中起到了关键作用。有研究表明基因突变可能影响了椎弓峡部骨化过程中的细胞分化、增殖或基质合成等环节，使得峡部结构先天性薄弱[3]。此类患者往往在青少年生长发育阶段，因腰椎承受正常的生理负荷就可能逐渐出现症状，且病情进展相对较快，早期可能表现为腰部隐痛，随着年龄增长和身体活动的增加，疼痛逐渐加重，并可能伴随腰椎滑脱等并发症[5]。

2.2. 获得性峡部裂

获得性腰椎峡部裂主要由反复的腰部应力损伤所引发。在现代社会中，长期从事军事训练的官兵、重体力劳动工人以及从事高强度体育训练的运动员，均为高发人群[6]。在这些人群中，腰部需要频繁地进行屈伸、旋转等动作，使得椎弓峡部反复承受过度的牵拉、挤压和剪切应力[7]。长期的应力累积最终导致椎弓峡部骨质发生疲劳骨折，进而形成峡部裂。这种类型的峡部裂通常在患者经历了较长时间的特定职业或运动活动后逐渐出现症状，初期可能在剧烈活动后出现腰部酸痛，休息后缓解，随着峡部损伤的加重，疼痛发作愈发频繁，程度也逐渐加剧，严重影响患者的日常生活和运动表现[8]。

2.3. 医源性峡部裂

医源性腰椎峡部裂是由于腰椎相关的医疗操作导致的峡部损伤[9]。在腰椎手术过程中，如腰椎间盘切除术、腰椎融合术等，手术操作可能对椎弓峡部造成直接的破坏或过度牵拉。笔者发现，在切除椎间盘组织时，如果手术器械使用不当或操作视野暴露不佳，可能会误伤到椎弓峡部的骨质或其周围的韧带结构，影响峡部的稳定性。此外，局部的药物注射治疗，如腰椎关节突关节或硬膜外的糖皮质激素注射，如果穿刺针的位置不准确或注射压力过大，也可能损伤峡部的骨质或干扰其血运，从而引发峡部裂。医源性峡部裂的症状出现时间与医疗操作的时间密切相关，一般在术后或注射后一段时间内逐渐出现腰部疼痛、活动受限等症状，且症状可能因损伤程度和个体差异而有所不同[10]。

病因学分型从发病原因角度区分峡部裂类型，如先天性、疲劳骨折型等，对于医生来说，通过了解病因可以更好地制定治疗方案，从预防角度看，明确病因分型可以为患者提供有针对性的预防建议。但是，在实际临床中，确定病因可能比较复杂，有些患者可能既有先天性因素又有后天获得性因素，难以准确判断主要病因。而且不同病因类型之间可能存在重叠。如急性外伤后的峡部裂可能在原本就有潜在疲劳骨折的基础上发生，或者先天性峡部裂患者在轻微外伤后出现明显的峡部裂症状，这使得单纯按病

因分型在某些情况下不够精准。

3. 影像学分型

3.1. 真性峡部裂

真性腰椎峡部裂在影像学上具有典型的特征,表现为椎弓峡部的骨质完全断裂,在 X 线斜位片、CT 扫描及三维重建图像上能够清晰地看到峡部的裂隙[11]。裂隙的形态可呈线性、锯齿状或不规则形,断端往往伴有骨质硬化或吸收等改变。骨质硬化是由于骨折后局部骨质修复过程中的异常钙盐沉积,而骨质吸收则可能是由于骨折断端的微动或局部血运改变所致。在 X 线斜位片上,其影像呈现为“狗颈断裂征”[12],即椎弓根像狗的眼睛,横突像狗的耳朵,上关节突像狗的前腿,下关节突像狗的后腿,而峡部裂则如同狗颈断裂。CT 扫描能够更准确地显示峡部裂的位置、形态、裂隙宽度以及周围骨质的细微变化,对于诊断和评估病情具有重要价值[13]。

3.2. 假性峡部裂

假性腰椎峡部裂,又称应力性峡部裂,其影像学表现相对较为隐匿。在常规 X 线片上,椎弓峡部的骨质连续性看似完整,但实际上在峡部存在应力性骨折或骨小梁微损伤。这种损伤在早期阶段,由于尚未导致明显的骨质断裂和移位,X 线片难以发现异常。然而,通过 MRI 检查,可以发现峡部的骨髓水肿、骨小梁结构紊乱等间接征象[14]。骨髓水肿表现为 T2 加权像或压脂序列上峡部区域的高信号,这是由于骨折或微损伤导致局部骨髓组织充血、水肿所致[15]。随着病情的进展,如果应力持续存在,假性峡部裂可能会逐渐发展为真性峡部裂,影像学上也会逐渐出现典型的骨质断裂表现[16]。

影像学分型比较直观,可以让医生直接通过 X 线、CT 等检查结果进行判断。对于真性峡部裂,医生能够清楚地看到峡部的形态变化,评估病情严重程度。为后续治疗方案的讨论和制定提供标准。但是,影像学表现只是反映了峡部裂的形态,不能完全体现病因和患者的临床症状。而且对早期病变不敏感,在峡部裂的早期阶段,影像学表现可能不典型。在裂隙刚开始形成时,可能由于成像技术的限制或者裂隙过小而难以发现,容易漏诊。

4. 解剖部位分型

4.1. 单椎峡部裂

单椎峡部裂是最为常见的类型,仅累及一个腰椎椎弓峡部[17]。在众多腰椎节段中,L5 椎弓峡部裂的发生率最高,约占腰椎峡部裂的 80%以上[7]。这可能与 L5 椎体在腰椎生理活动中所承受的应力较大,且其解剖结构相对特殊有关。L5 椎体位于腰椎与骶椎的交界处,是腰椎前凸与骶椎后凸的过渡节段,在人体站立、行走、弯腰等活动中,承受着来自上方腰椎和下方骶椎的复杂应力[18],使得 L5 椎弓峡部更容易发生损伤和裂损。单椎峡部裂患者的症状主要集中在病变节段局部,表现为腰部疼痛、酸胀,疼痛可在劳累后加重,休息后缓解。部分患者可能伴有下肢放射性疼痛或麻木,但神经症状相对较轻[10]。

4.2. 多椎峡部裂

多椎峡部裂同时累及两个或两个以上腰椎椎弓峡部,相对少见[19]。这种类型的峡部裂往往导致更严重的腰椎不稳和滑脱。由于多个节段的峡部受损,腰椎的整体稳定性受到极大破坏,脊柱的力学传导发生紊乱[20]。患者除了腰部疼痛外,常出现明显的下肢神经根受压症状,如间歇性跛行、下肢放射性疼痛、麻木无力等,严重者甚至可能出现马尾神经综合征,表现为会阴部感觉障碍、大小便功能失禁等。多椎峡部裂的治疗难度较大[21],需要综合考虑多个节段的病变情况,制定个体化的治疗方案,通常需要手术

干预来重建腰椎的稳定性和解除神经压迫[20]。

根据峡部裂累及椎体数量分型是临床中较为常见的，可以直观的评估病情严重程度。仅一个椎体峡部裂时，脊柱的力学传导改变主要集中在该椎体附近，周围椎体和软组织能够在一定程度上代偿这种改变。相比之下，多椎体峡部裂的情况则表明病变范围广，脊柱的稳定性受到的威胁更大，更易出现脊柱滑脱、畸形等严重后果。但这种分型方式侧重于椎体数量，对于峡部裂的病因揭示不够深入。无论是单椎体还是多椎体峡部裂，都可能由先天性、疲劳骨折、急性外伤或病理性因素引起，仅从椎体数量无法判断具体的病因。此外，虽然多椎体峡部裂整体上病情可能更严重，但没有考虑到每个患者的个体差异。有些患者即使是单椎体峡部裂，但由于其职业(如军事人员)对脊柱功能要求极高，或者峡部裂发生在关键的椎体位置(如腰椎下段)，可能对其生活和工作产生的影响与多椎体峡部裂患者类似。同样，一些多椎体峡部裂患者可能由于身体代偿能力较好等原因，实际的临床症状并不比单椎体峡部裂患者严重很多，这种分型可能会忽略这些个体差异。

5. 滑脱程度分型

5.1. 无滑脱型峡部裂

无滑脱型腰椎峡部裂指的是腰椎椎弓峡部虽有裂损，但椎体间无明显滑脱现象。此时，腰椎的整体稳定性相对较好，因为椎体间的正常解剖关系尚未发生明显改变。患者的主要症状表现为单纯的下腰痛，疼痛程度一般较轻，多为间歇性发作，常在长时间站立、久坐或弯腰后加重，平卧休息后可缓解。由于没有椎体滑脱对神经结构的直接压迫，神经症状相对少见，但部分患者可能存在腰椎周围肌肉的紧张、痉挛，导致腰部活动受限。据相关研究[22]表明，在无滑脱型峡部裂患者中，约 70%主要以腰部疼痛为首发症状，且多数患者通过保守治疗，如休息、物理治疗等，症状可得到一定程度的缓解。

5.2. 轻度滑脱型峡部裂

轻度滑脱型腰椎峡部裂的椎体滑脱程度较轻，一般滑脱不超过椎体矢状径的 25% [6]。随着椎体的轻度滑脱，腰椎的生理曲度和力学平衡开始发生改变，除了下腰痛症状外，患者可能逐渐出现下肢神经根受压的症状。常见的表现有下肢放射性疼痛，疼痛可从腰部沿臀部、大腿后侧或外侧放射至小腿甚至足部；间歇性跛行，即行走一段距离后出现下肢疼痛、麻木、无力等症状，休息后可缓解，继续行走又会复发；下肢感觉异常，如麻木、刺痛等。这些神经症状的出现是由于椎体滑脱导致椎间孔狭窄，神经根受到挤压或牵拉所致。有研究指出[23]，在轻度滑脱型峡部裂患者中，约 40%会出现下肢放射性疼痛，其中约 20%伴有间歇性跛行症状，且随着时间推移，若不进行有效干预，约 30%患者的神经症状可能会逐渐加重。

5.3. 重度滑脱型峡部裂

重度滑脱型腰椎峡部裂的椎体滑脱程度较重，超过椎体矢状径的 50% [24]。此型患者的腰椎稳定性严重受损，脊柱畸形明显，常表现为腰椎前凸增大、腰骶部后凸等。严重的椎体滑脱会对马尾神经造成直接压迫，导致马尾神经综合征的发生，这是一种较为严重的神经并发症，除了会阴部感觉障碍、大小便功能失禁外，还可能伴有下肢广泛的肌肉无力、萎缩，严重影响患者的生活质量和自理能力。重度滑脱型峡部裂的治疗极具挑战性，往往需要复杂的手术重建，包括椎体复位、融合固定等，以恢复腰椎的稳定性和解除神经压迫，但手术风险和术后并发症的发生率也相对较高。根据一项研究显示[25]，重度滑脱型峡部裂患者接受手术治疗后，约 60%患者的腰椎稳定性得到恢复，神经症状有所改善。

按照滑脱程度进行分型，可以让医生和患者直观地了解病情所处的阶段，对于判断疾病的进展和预

后有重要的意义。不同程度的滑脱有不同的治疗倾向，轻度滑脱，可以先尝试保守治疗，而对于重度滑脱，由于其对脊柱稳定性和神经结构的威胁较大，通常需要考虑手术治疗来复位和固定椎体，重建脊柱的稳定性。虽然滑脱程度是一个重要的指标，但它没有充分考虑患者的个体差异。有些患者即使是轻度滑脱，也因个体对疼痛的敏感度高、神经根管狭窄等因素，出现严重的疼痛、神经损伤等症状，需要积极的治疗。相反，部分重度滑脱患者可能由于长期适应、周围组织代偿等原因，症状相对较轻，仅根据滑脱程度分型可能会导致治疗过度或不足。而且，滑脱程度分型通常是基于某一时刻的影像学检查结果，不能很好地反映滑脱的动态变化过程。

6. 动态分型

6.1. 稳定型峡部裂

稳定型腰椎峡部裂在动态影像学检查(如站立位和过伸位 X 线片、动态 CT 或 MRI 检查)中表现为腰椎峡部裂处的裂隙无明显增宽或移位。这表明在生理活动过程中，腰椎的稳定性能得到较好的维持，峡部裂对腰椎整体力学结构的影响较小。此类患者一般采用保守治疗即可取得较好的疗效，保守治疗措施包括休息、物理治疗(如热敷、按摩、牵引等)、药物治疗(如非甾体类抗炎药、肌肉松弛剂等)以及康复锻炼(如核心肌群训练、腰椎稳定性训练等)[26]。通过保守治疗，患者的症状多能得到有效缓解，日常生活和工作能力基本不受影响，但需要定期进行影像学复查，以监测峡部裂的变化情况。有研究[11]对稳定型峡部裂患者进行了长期随访发现，经过规范的保守治疗后，约 80% 的患者在 1~2 年内腰痛症状明显减轻，且能恢复正常的日常活动，不过仍有近 20% 的患者在后续复查中发现峡部裂有细微变化，提示持续监测的重要性。

6.2. 不稳定型峡部裂

不稳定型腰椎峡部裂在站立位或过伸位时，峡部裂处的裂隙明显增宽，椎体间出现明显的相对位移。这意味着腰椎在生理活动过程中无法维持正常的稳定性，峡部裂严重破坏了腰椎的力学平衡。此类患者保守治疗效果往往不佳，因为持续的腰椎不稳定会导致腰部疼痛难以缓解，且容易进一步加重椎体滑脱和神经损伤。因此，不稳定型峡部裂常需要手术治疗来重建腰椎的稳定性，手术方式包括峡部修复术、腰椎融合术等，旨在通过固定病变节段，恢复腰椎的正常解剖结构和力学传导，减轻疼痛症状并防止病情进一步恶化。有研究指出[27]，在针对不稳定型峡部裂患者的手术治疗研究中，不同手术方式在改善腰椎稳定性方面各有优势，例如峡部修复术对于早期不稳定型峡部裂且滑脱程度较轻的患者，能有效修复峡部结构，成功率可达约 70% 左右；而腰椎融合术对于伴有较严重滑脱及神经损伤的患者，更有助于长期维持腰椎稳定，减少神经功能进一步受损的风险，但手术创伤相对较大，术后康复周期也较长[28]。

动态分型从脊柱力学稳定性的角度出发，能够很好地反映腰椎峡部裂对脊柱整体力学结构的影响。稳定型说明在当前阶段，峡部裂尚未导致明显的力学失衡，而不稳定型则表明脊柱的支撑和运动功能已经受到威胁。这对于理解腰椎峡部裂的病理生理机制，尤其是在研究脊柱生物力学方面具有重要的价值。但是，稳定性判断在实际操作中可能存在一定的模糊性。目前虽然有一些判断稳定性的方法，如通过观察椎体的移位情况、动态影像学检查(屈伸位 X 线等)来评估，但这些标准可能并不完全准确。而且，有些稳定型峡部裂可能会随着时间的推移、活动量的增加或者其他因素的影响而转变为不稳定型。而目前的分型方法在预测这种变化以及如何在早期进行干预方面存在不足，不利于对疾病进行全程动态的管理。

7. 分型与临床意义

不同的腰椎峡部裂分型并非孤立存在，而是相互关联、相互影响的[14]。先天性峡部裂可能会增加获

得性峡部裂的发病风险。因为先天性峡部存在缺陷的患者，其椎弓峡部的结构本身就比较薄弱。在后天的生活中，即使是正常的活动，承受的应力也可能超过其峡部所能承受的范围，从而更容易发生疲劳骨折型峡部裂，从而可能从单纯的先天性峡部裂发展为先天性合并获得性峡部裂，并出现相应的滑脱程度改变[29]。在影像学表现上，真性峡部裂往往与更严重的腰椎不稳和滑脱相关联，而假性峡部裂如果不及干预，可能会进展为真性峡部裂，同时也可能伴随滑脱程度的加重[30]。此外，多椎体峡部裂的稳定性相对较差，对腰椎的影响较大。单椎体峡部裂可能会导致应力集中，增加峡部的压力，从而增加峡部裂滑脱的发生风险[21]。而且，滑脱较重的峡部裂对维持脊椎力学稳定性较差，需要及时治疗，无滑脱或者轻度滑脱型峡部裂虽稳定性尚可，但也可能存在潜在的风险。不稳定型峡部裂的症状较为明显，容易引起患者的重视。稳定型峡部裂可能在早期不易被发现，随着病情发展可能会逐渐成为不稳定型峡部裂[31]。

各分型对于临床治疗决策具有极为重要的指导意义。对于病因学分型，明确是先天性、获得性还是医源性峡部裂，有助于寻找潜在的致病因素，从而在治疗过程中有针对性地进行预防和干预[10]。对于获得性峡部裂患者，在治疗的同时需要强调对腰部应力的调整和防护，避免再次损伤。影像学分型为准确诊断提供了依据[32]，真性峡部裂和假性峡部裂的鉴别诊断直接影响治疗方案的选择，真性峡部裂可能更倾向于手术治疗，而假性峡部裂在早期可尝试保守治疗并密切观察。解剖部位分型有助于评估病情的复杂程度和累及范围，单椎峡部裂和多椎峡部裂的治疗策略截然不同[33]，多椎峡部裂需要更全面的手术规划和更长期的康复治疗。滑脱程度分型则直接决定了治疗的紧迫性和治疗手段的选择，无滑脱型峡部裂可先保守治疗并随访，轻度滑脱型峡部裂需根据患者症状和神经受压情况综合判断治疗方案，而重度滑脱型峡部裂往往需要紧急手术干预以避免严重神经并发症的发生[34]。动态分型为判断腰椎的稳定性提供了重要信息，稳定型峡部裂可保守治疗，不稳定型峡部裂则多需手术稳定腰椎。

8. 总结与展望

随着医学技术的不断发展，腰椎峡部裂的分型研究仍在持续深入。未来，分子生物学技术有望进一步揭示先天性峡部裂的基因发病机制，为早期诊断和基因治疗提供可能。影像学技术的进步将使我们能够更精准地检测峡部裂的早期病变，如开发更敏感的 MRI 序列或新型影像学标志物，以便在假性峡部裂阶段就能进行有效的干预。在分型的整合方面，有望建立一种综合多因素的分型系统，将病因、影像学、解剖、滑脱程度和动态特征等有机结合，为临床治疗提供更全面、精准的指导。此外，随着人工智能技术在医学领域的应用逐渐成熟，利用大数据和人工智能算法对腰椎峡部裂进行智能分型和个性化治疗方案推荐也将成为未来研究的重要方向，这将极大地提高腰椎峡部裂的诊疗水平，改善患者的预后。

综上所述，腰椎峡部裂的分型研究取得了显著的进展，多种分型方法从不同维度对该疾病进行了阐释。然而，仍需要进一步深入研究各分型之间的内在联系，优化分型系统，并将分型成果更好地应用于临床实践，以实现腰椎峡部裂患者的精准诊断、个性化治疗和良好的预后管理。

参考文献

- [1] Tatsumura, M., Gamada, H., Okuwaki, S., Eto, F., Nagashima, K., Iwabuchi, S., *et al.* (2022) Union Evaluation of Lumbar Spondylolysis Using MRI and CT in Adolescents Treated Conservatively. *Journal of Orthopaedic Science*, 27, 317-322. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2021.01.002>
- [2] Safaee, M.M., Scheer, J.K., Lau, D., Fury, M., Deviren, V. and Ames, C.P. (2022) Sacral Pedicle Subtraction Osteotomy for Treatment of High-Grade Spondylolisthesis: A Technical Note and Review of the Literature. *Operative Neurosurgery*, 23, e84-e90. <https://doi.org/10.1227/ons.0000000000000251>
- [3] Alonso, F., Kirkpatrick, C.M., Jeong, W., Fisahn, C., Usman, S., Rustagi, T., *et al.* (2017) Lumbar Facet Tropism: A Comprehensive Review. *World Neurosurgery*, 102, 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.02.114>
- [4] Kato, K., Hakozi, M., Mashiko, R. and Konno, S. (2021) Familial Development of Lumbar Spondylolysis: A Familial

- Case Report of 7- and 4-Year-Old Brothers and Their Father. *Journal of International Medical Research*, **49**, 1-7. <https://doi.org/10.1177/03000605211015559>
- [5] 马锐, 安伟, 徐斌, 等. V 型钛缆结合椎弓根钉内固定系统治疗青年第五腰椎峡部裂的疗效分析[J]. 中华解剖与临床杂志, 2021, 26(5): 517-521.
 - [6] Choi, J.H., Ochoa, J.K., Lubinus, A., Timon, S., Lee, Y. and Bhatia, N.N. (2022) Management of Lumbar Spondylolysis in the Adolescent Athlete: A Review of over 200 Cases. *The Spine Journal*, **22**, 1628-1633. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2022.04.011>
 - [7] Ilyas, H. and Savage, J. (2018) Lumbar Disk Herniation and SPORT: A Review of the Literature. *Clinical Spine Surgery: A Spine Publication*, **31**, 366-372. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000000696>
 - [8] 李璐遥, 黄晓夏, 马锐, 等. 计算机导航引导与徒手椎弓根螺钉置钉在腰椎峡部裂手术中的应用的效果比较[J]. 中华创伤骨科杂志, 2024, 26(1): 35-42.
 - [9] 马骁, 尹佳, 邵为, 等. 基于手术治疗的儿童第 5 腰椎峡部裂及滑脱的分类方法研究[J]. 第二军医大学学报, 2020, 41(3): 272-280.
 - [10] Bydon, M., Alvi, M.A. and Goyal, A. (2019) Degenerative Lumbar Spondylolisthesis: Definition, Natural History, Conservative Management, and Surgical Treatment. *Neurosurgery Clinics of North America*, **30**, 299-304. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2019.02.003>
 - [11] Mohile, N.V., Kuczmarski, A.S., Lee, D., Warburton, C., Rakoczy, K. and Butler, A.J. (2022) Spondylolysis and Isthmic Spondylolisthesis: A Guide to Diagnosis and Management. *The Journal of the American Board of Family Medicine*, **35**, 1204-1216. <https://doi.org/10.3122/jabfm.2022.220130r1>
 - [12] Chen, S., Tong, A., Tang, H., Lv, Z., Liu, S., Liu, J., et al. (2020) Increased Sagittal Diameter of the Vertebral Arch Aids in Diagnosis of Lumbar Spondylolysis. *Skeletal Radiology*, **50**, 1125-1130. <https://doi.org/10.1007/s00256-020-03658-8>
 - [13] Huber, F.A., Schmidt, C.S. and Alkadhi, H. (2023) Diagnostic Performance of the Darth Vader Sign for the Diagnosis of Lumbar Spondylolysis in Routinely Acquired Abdominal CT. *Diagnostics*, **13**, Article 2616. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13152616>
 - [14] Lawrence, K.J., Elser, T. and Stromberg, R. (2016) Lumbar Spondylolysis in the Adolescent Athlete. *Physical Therapy in Sport*, **20**, 56-60. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.04.003>
 - [15] Cheung, K.K., Dhawan, R.T., Wilson, L.F., Peirce, N.S. and Rajeswaran, G. (2018) Pars Interarticularis Injury in Elite Athletes—The Role of Imaging in Diagnosis and Management. *European Journal of Radiology*, **108**, 28-42. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.08.029>
 - [16] Chung, C.C. and Shimer, A.L. (2021) Lumbosacral Spondylolysis and Spondylolisthesis. *Clinics in Sports Medicine*, **40**, 471-490. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2021.03.004>
 - [17] 郭飞, 张兴, 胡传亮, 等. 肌间隙入路钉钩固定结合峡部植骨治疗青少年腰椎峡部裂[J]. 颈腰痛杂志, 2021, 42(1): 82-84.
 - [18] Rai, R.R., Shah, Y., Shah, S., Palliyil, N.S. and Dalvie, S. (2019) A Radiological Study of the Association of Facet Joint Tropism and Facet Angulation with Degenerative Spondylolisthesis. *Neurospine*, **16**, 742-747. <https://doi.org/10.14245/ns.1836232.116>
 - [19] Takeuchi, M., Tezuka, F., Chikawa, T., Hibino, N., Takahashi, Y., Yamasaki, Y., et al. (2020) Consecutive Double-Level Lumbar Spondylolysis Successfully Treated with the Double “Smiley Face” Rod Method. *The Journal of Medical Investigation*, **67**, 202-206. <https://doi.org/10.2152/jmi.67.202>
 - [20] Mo, J., Zhang, W., Zhong, D., Xu, H., Wang, L., Yu, J., et al. (2016) Is Preventative Long-Segment Surgery for Multi-Level Spondylolysis Necessary? A Finite Element Analysis Study. *PLOS ONE*, **11**, e0149707. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149707>
 - [21] Hersh, D.S., Kim, Y.H. and Razi, A. (2011) Multi-Level Spondylolysis. *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases*, **69**, 339-343.
 - [22] Debnath, U.K. (2021) Lumbar Spondylolysis: Current Concepts Review. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, **21**, Article ID: 101535. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.101535>
 - [23] Hirota, R., Teramoto, A., Kimura, R., Kobayashi, T., Yoshimoto, M., Iesato, N., et al. (2022) Degenerative Lumbar Spondylolisthesis Patients with Movement-Related Low Back Pain Have Less Postoperative Satisfaction after Decompression Alone. *Spine*, **47**, 1391-1398. <https://doi.org/10.1097/brs.00000000000004377>
 - [24] García-Ramos, C., Valenzuela-González, J., Baeza-Álvarez, V., Rosales-Olivarez, L., Alpizar-Aguirre, A. and Reyes-Sánchez, A. (2020) Espondilolistesis Degenerativa Lumbar I: Principios Generales. *Acta Ortopédica Mexicana*, **34**, 324-328. <https://doi.org/10.35366/97997>

-
- [25] Kaiser, R., Kantorová, L., Langaufová, A., Slezáková, S., Tučková, D., Klugar, M., *et al.* (2023) Decompression Alone versus Decompression with Instrumented Fusion in the Treatment of Lumbar Degenerative Spondylolisthesis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Trials. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, **94**, 657-666. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2022-330158>
- [26] Aoki, Y., Takahashi, H., Nakajima, A., Kubota, G., Watanabe, A., Nakajima, T., *et al.* (2020) Prevalence of Lumbar Spondylolysis and Spondylolisthesis in Patients with Degenerative Spinal Disease. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 6739. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63784-0>
- [27] Glennie, R.A., Bailey, C.S., Abraham, E., Manson, N., Casha, S., Thomas, K., *et al.* (2021) Variation in Surgical Treatment of Degenerative Spondylolisthesis in Canada: Surgeon Assessment of Stability and Impact on Treatment. *European Spine Journal*, **30**, 3709-3719. <https://doi.org/10.1007/s00586-021-06928-8>
- [28] Tanveer, F., Arslan, S.A., Darain, H., Ahmad, A., Gilani, S.A. and Hanif, A. (2021) Prevailing Treatment Methods for Lumbar Spondylolysis: A Systematic Review. *Medicine*, **100**, e28319. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000028319>
- [29] 李璐遥. 基于有限元分析腰椎小关节方向性和向性与腰椎峡部裂的关系[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2024.
- [30] Bouras, T. and Korovessis, P. (2014) Management of Spondylolysis and Low-Grade Spondylolisthesis in Fine Athletes. a Comprehensive Review. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, **25**, 167-175. <https://doi.org/10.1007/s00590-014-1560-7>
- [31] Tatsumura, M., Gamada, H., Okuwaki, S., Eto, F., Nagashima, K., Mammoto, T., *et al.* (2022) Characteristics of Recurrent Cases after Conservative Therapy in Adolescent Lumbar Spondylolysis. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 4019. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07884-z>
- [32] Viana, S.L., Viana, M.A.D.C.B. and de Alencar, E.L.C. (2015) Atypical, Unusual, and Misleading Imaging Presentations of Spondylolysis. *Skeletal Radiology*, **44**, 1253-1262. <https://doi.org/10.1007/s00256-015-2138-0>
- [33] Huang, X., Teng, Y., Ma, R., An, W., Liu, T., Qiang, L., *et al.* (2024) Evaluation of V-Type Titanium Cable Internal Fixation for the Treatment of Young Adult Fifth Lumbar Spondylolysis: Technical Notes and a Retrospective Clinical Study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **19**, Article No. 747. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-05197-7>
- [34] Tatsumura, M., Gamada, H., Okuwaki, S., Eto, F., Nagashima, K., Ogawa, T., *et al.* (2021) Factors Associated with Failure of Bony Union after Conservative Treatment of Acute Cases of Unilateral Lumbar Spondylolysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **22**, Article No. 75. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03940-9>