

# 改良活检优化宏基因组二代测序 腰椎间盘突出感染早期诊断策略

齐硕<sup>1</sup>, 刘可宇<sup>2</sup>, 徐展望<sup>3</sup>, 谭国庆<sup>3</sup>, 张强<sup>4,5</sup>

(1. 天津中医药大学中西医结合学院, 天津 301617;

2. 山东中医药大学第一临床医学院, 山东 济南 250014;

3. 山东中医药大学附属医院脊柱脊髓科, 山东 济南 250011;

4. 山东大学附属公共卫生临床中心骨外二科(骨感染), 山东 济南 250102;

5. 山东省公共卫生临床中心骨外二科(骨感染), 山东 济南 250102)

**摘要:** **目的** 探讨C臂引导下改良经皮椎间孔穿刺活检联合宏基因组二代测序(metagenomics next-generation sequencing, mNGS)技术在腰椎间盘突出感染早期诊断中的应用价值。**方法** 回顾性分析山东大学附属公共卫生临床中心骨外二科(骨感染)2020年10月至2023年11月疑似腰椎间盘突出感染患者179例的临床资料。所有患者均在C臂引导下进行穿刺,其中采用传统经皮椎体后凸成形术穿刺系统90例(传统组),采用改良经皮椎间孔穿刺活检系统89例(改良组)。所有患者均行需氧菌、厌氧菌、抗酸菌、真菌培养,常规药敏试验,mNGS及组织病理学检查。比较两组的穿刺组织敏感度、手术时间、透视次数及即时并发症发生率。**结果** 两组在性别、年龄、体质量指数、合并高血压及糖尿病比例,以及术前C反应蛋白和血沉等基线临床特征方面差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),具有良好可比性;但手术节段分布存在显著差异( $P=0.027$ )。在主要效性指标上,两组阳性穿刺组织敏感度差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),提示改良活检术在病原检出效能方面与传统术式相当。安全性分析显示,两组并发症发生率和手术时间差异均无统计学意义( $P>0.05$ );在操作特征方面,改良组透视次数[(8.04±0.94)次]略高于传统组[(7.53±0.75)次]( $P<0.001$ )。提示改良活检术在早期病原学诊断效能方面可达到与传统术式相当的水平。**结论** 改良经皮椎间孔穿刺活检联合mNGS技术是一种微创、高安全性和高获取率的诊断早期椎间盘突出感染的方法,为临床提供了一种稳健、可靠的诊断优化路径,具有显著的临床应用价值。其有效性通过大样本量和长期随访的研究进一步验证。

**关键词:** 椎间盘突出;经皮穿刺;脊柱活检;脊柱;病理;宏基因组二代测序检测

中图分类号:R681.5

文献标志码:A

## Improved biopsy and optimized metagenomic next-generation sequencing strategies for early diagnosis of lumbar disc infection

QI Shuo<sup>1</sup>, LIU Keyu<sup>2</sup>, XU Zhanwang<sup>3</sup>, TAN Guoqing<sup>3</sup>, ZHANG Qiang<sup>4,5</sup>

(1. College of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301617, China; 2. First Clinical Medical College, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250014, Shandong, China; 3. The Department of Spinal and Spinal Cord, Affiliated Hospital of Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250011, Shandong, China; 4. The Second Department of Orthopedics (Bone Infection), Shandong Public Health Clinical Center Affiliated to Shandong University, Jinan 250102, Shandong, China; 5. The Second Department of Orthopedics (Bone Infection), Shandong Public Health Clinical Center, Jinan 250102, Shandong, China)

**Abstract: Objective** To explore the application value of modified percutaneous intervertebral foraminal biopsy under C-arm guidance combined with metagenomics next-generation sequencing (mNGS) in the early diagnosis of lumbar disc infection. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 179 patients suspected of having lumbar disc infection admitted to the Second Department of Orthopedics (Bone Infection), Shandong Public Health Clinical Center Affiliated to Shandong University from October 2020 to November 2023. All patients underwent puncture under C-arm guidance, with 90 cases employed the conventional percutaneous kyphoplasty puncture system (conventional group) and 89 cases utilized the improved percutaneous transforaminal biopsy system (improved group). Cultures for aerobic and anaerobic bacteria, acid-fast bacilli, and fungi, as well as routine drug susceptibility testing, mNGS, and histopathological examination were performed for each patient. The diagnostic sensitivity of puncture biopsy, operative time, fluoroscopy frequency, and incidence of immediate complications were compared between the two biopsy systems. **Results** There were no statistically significant differences between the two groups in baseline clinical characteristics such as gender, age, body mass index (BMI), proportion of patients with hypertension and diabetes, and preoperative C-reactive protein (CRP) and erythrocyte sedimentation rate (ESR) ( $P>0.05$ ), indicating good comparability. However, there was a significant difference in the distribution of surgical segments ( $P=0.027$ ). Regarding the main efficacy indicators, there were no statistically significant differences in the diagnostic sensitivity of puncture biopsy between the two groups ( $P>0.05$ ), suggesting that the modified biopsy technique was comparable to the traditional technique in terms of pathogen detection efficacy. Safety analysis showed no statistically significant differences in the incidence of complications and operation time between the two groups ( $P>0.05$ ); however, in terms of procedural characteristics, the modified group ( $8.04\pm 0.94$ ) overall, had slightly more fluoroscopy sessions than the traditional group ( $7.53\pm 0.75$ ) ( $P<0.001$ ). Overall, the modified biopsy technique could achieve a level of efficacy comparable to the traditional method in early etiological diagnosis. **Conclusion** The improved percutaneous transforaminal biopsy combined with mNGS is a minimally invasive method for diagnosing early lumbar disc infection, characterized by high safety and a high diagnostic yield. It provides a robust and reliable optimized diagnostic pathway for clinical practice and holds significant clinical application value. Its effectiveness warrants further validation through studies with larger sample sizes and longer follow-up periods.

**Key words:** Intervertebral disc infection; Percutaneous puncture; Spinal biopsy; Spine; Pathology; Metagenomics next-generation sequencing

脊柱感染是一种影响椎体、椎间盘和(或)邻近椎旁组织的感染性疾病,约占所有肌肉骨骼感染的2%~7%<sup>[1]</sup>。高龄、免疫功能低下、糖尿病等基础疾病、生活环境和创伤等因素均可促进脊柱感染的发生与发展。其中,椎间盘感染占所有脊柱感染的95%,若及时发现,可能导致脊柱畸形、神经功能受损、败血症甚至死亡<sup>[2]</sup>。对于疑似椎间盘感染的患者,在排除诊断性禁忌后,应尽早进行微生物学诊断,及时对感染病灶进行及时干预,以减少意外事件的发生。椎间盘感染的微生物学诊断对于选择合适的抗菌治疗至关重要,应根据微生物学研究结果指导椎间盘感染的治疗,以减少不必要的抗生素使用。

脊柱活检可通过开放手术或经皮穿刺术术式进行诊断和治疗,脊柱经皮穿刺活检术主要用于疑似椎体肿瘤或椎间盘炎的诊断和治疗<sup>[3]</sup>,包括细针穿刺活检(fine needle aspiration biopsy, FNAB)和芯针活检(core needle biopsy, CNB)具有创伤小、操作精细的优点,而开放性脊柱活检术

则具有视野清晰、样本量大的优点。在充分考虑开放性脊柱活检术和经皮脊柱活检术的优缺点后,为提高样本采集的准确性、全面性和诊断率,同时降低手术创伤和感染蔓延的风险,本研究对传统的经皮脊柱活检术进行了改进,采用以骨水泥针作为穿刺通道,并使用髓核钳作为钳取工具进行病理取样,探讨改良活检优化mNGS技术在腰椎间盘感染中的效果。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

本研究采用回顾性连续队列研究设计,连续纳入2020年10月至2023年11月山东大学附属公共卫生临床中心骨外二科(骨感染)行穿刺活检的疑似腰椎间盘感染患者179例,其中男108例,女71例,56.4(15~89)岁。根据入组先后时间分为:2020年10月至2022年4月行传统经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)穿刺系统患者

90例(传统组);2022年5月至2023年11月采用改良经皮椎间孔穿刺活检系统联合mNGS检测患者89例(改良组)。纳入标准:①根据临床表现、体格检查、血液生化检查及影像学检查结果相一致的疑似腰椎间盘突出感染患者;②行X线透视引导的穿刺活检;③活检标本行微生物学检查。排除标准:①存在凝血功能障碍、穿刺部位严重感染或对于手术不配合的患者;②接受CT或B超引导穿刺活检;③合并其他部位骨关节感染的患者;④术前1周行抗生素治疗的患者;⑤病历资料不完整患者。本研究获得山东大学附属公共卫生临床中心伦理委员会批准(批准号:GWLCZXEC-SOP-K-2025-39)。所有患者在接受穿刺活检术前均已签署同意书。

## 1.2 方法

### 1.2.1 设备说明

传统PKP套管的内径和外径分别为3.7 mm和4.2 mm(图1)。改良组套管经医院供应室的标准压力蒸汽灭菌处理,且每批次使用化学指示带确认灭菌效果;手术室严格记录器械的疲劳强度测试和临床观察结果以确定其可重复使用次数的限度。该组套管由钳取脊柱感染病灶的髓核钳(刃宽2.0 mm)和具备工作通道的骨水泥针(直径2.4 mm)组成(图2),与传统组套管通道相比,改良组套管的工作通道小、创伤小,能够有效降低感染蔓延的风险。此外,改良组套管经过严格消毒后可重复使用,从而减轻患者和社会的经济负担。

### 1.2.2 穿刺操作

两组的手术入路和操作过程相同,传统组使用PKP套管,改良组则使用自行改良的新型工作通道,具体穿刺操作以改良组为例进行说明。术前根据患者CT、MRI、增强MRI检查结果,测量穿刺点与后正中线的距离以及穿刺角度,并确定靶点部位。整个手术过程中,患者采取俯卧位,腹部悬空。调整C型臂的方向,使椎体处于标准正位,并进行透视定位病变间隙,标记棘突中线,常规消毒皮肤,于病变间隙左侧,依据术前MRI测量结果旁开8 cm处标记穿刺点和穿刺方向。常规术区皮肤消毒,铺无菌巾单,使用1%利多卡因局部麻醉。在穿刺点用20 mL注射器针头扩皮,C型臂引导下置入18 G穿刺针(图3),进针后回抽无血,同时麻醉至腰背筋膜和靶点部位,分别注入1%利多卡因5 mL,置入并固定刚性导丝,沿导丝置入工作套管。然后进行C型臂透视(图4),逐步推进,再次进行C型臂透视,到达病灶位置后,取出刚性导丝,可见套管前端位于椎

弓根连线,侧位于间盘后缘。将髓核钳(长16 mm、刃宽2.0 mm)通过工作套管送入,C型臂透视见髓核钳前端在套管前端约3.0 mm处,根据术前确定的靶点位置,多方向钳取病灶,必要时可重复几次,直到获得足够的样品。将髓核钳完全取出,将病理组织送往病原学和病理学检查。



图1 传统PKP套管装置

Figure 1 Traditional PKP casing assembly



图2 改良活检术器械

A: 髓核钳; B: 工作通道。

Figure 2 Improved biopsy instrument

A: Nucleus pulposus forceps; B: Working channel.



图3 在C臂的引导下插入一根穿刺针(18 G穿刺针 18 G×200 mm)

Figure 3 Insertion of a 18 G×200 mm needle under C-arm guidance

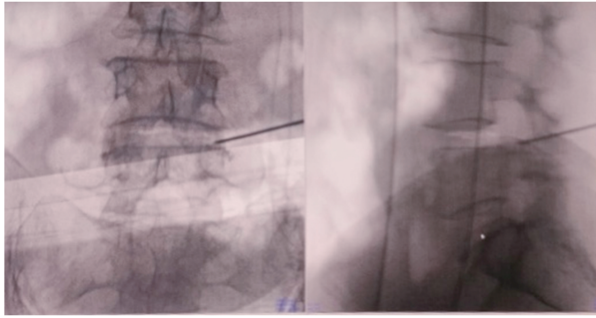


图4 术中利用X线正侧位确认导丝位置  
Figure 4 Intraoperative confirmation of guidewire placement using anteroposterior and lateral radiographs

### 1.3 统计学处理

采用SPSS22.0统计学软件。符合正态分布的连续型数值变量采用 $\bar{x}\pm s$ 进行描述性统计;采用Levene检验评估方差齐性,若方差齐,组间采用独

立样本 $t$ 检验。分类型变量数据采用 $n(\%)$ 进行描述,组间差异采用 $\chi^2$ 检验或Fisher精确检验。检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧)。

## 2 结果

### 2.1 患者临床资料比较

传统组与改良组在性别、年龄、体质量指数、合并高血压和合并糖尿病等人口统计学及合并症指标上差异无统计学意义( $P>0.05$ ),两组术前C反应蛋白和红细胞沉降率差异无统计学意义( $P>0.05$ )。两组患者的手术节段分布差异有统计学意义( $P<0.05$ ),传统组行L3/4手术节段的比例高于改良组;改良组行L4/5和L5/S1手术节段比例高于传统组。见表1。

表1 两组患者基线资料比较

Table 1 Comparison of baseline characteristics between the two groups of patients

| 变量             | 传统组( $n=90$ ) | 改良组( $n=89$ ) | $t/\chi^2$ | $P$   |
|----------------|---------------|---------------|------------|-------|
| 性别             |               |               | 0.060      | 0.806 |
| 男              | 53(58.9)      | 55(61.8)      |            |       |
| 女              | 37(41.1)      | 35(38.2)      |            |       |
| 年龄/岁           | 58.53±15.68   | 54.25±15.90   | 1.813      | 0.071 |
| 体质量指数          | 22.72±1.98    | 22.49±1.68    | 0.838      | 0.404 |
| 合并高血压          | 25(27.8)      | 20(22.5)      | 0.418      | 0.518 |
| 合并糖尿病          | 19(21.1)      | 20(22.5)      | 0.002      | 0.969 |
| 术前C反应蛋白/(mg/L) | 60.53±23.59   | 61.80±20.69   | 0.382      | 0.701 |
| 术前血沉/(mm/h)    | 56.84±19.45   | 58.21±20.33   | 0.460      | 0.646 |
| 手术节段           |               |               | 9.176      | 0.027 |
| L2/3           | 0(0.0)        | 3(3.4)        |            |       |
| L3/4           | 40(44.4)      | 23(25.8)      |            |       |
| L4/5           | 31(34.4)      | 37(41.6)      |            |       |
| L5/S1          | 19(21.1)      | 26(29.2)      |            |       |

注:变量以 $n(\%)$ 或 $\bar{x}\pm s$ 形式表示。

### 2.2 手术结果

所有患者顺利完成穿刺,获取椎间盘组织均足量。因椎弓根粗细和腰椎退变增生程度的差异,两组术中透视次数和穿刺时间存在一定差异。以临床综合结果为金标准,传统组最终确诊感染85例,其中穿刺确诊85例;改良组最终确诊感染87例,其中穿刺确诊86例。根据穿刺组织敏感度=穿刺确诊

例数/确诊感染总例数 $\times 100\%$ ,计算穿刺组织敏感度分别为100%、98.95%,差异无统计学意义( $P>0.999$ )。在临床有效性和安全性指标方面,并发症发生率以及手术时间差异无统计学意义( $P>0.05$ )。改良组透视次数略高于传统组,差异有统计学意义( $P<0.001$ )。见表2。

表2 两组患者主要临床结局和安全性比较

Table 2 Comparison of major clinical outcomes between the two groups of patients

| 评价指标     | 传统组( $n=90$ ) | 改良组( $n=89$ ) | $t/\chi^2$ | $P$      |
|----------|---------------|---------------|------------|----------|
| 并发症发生率/% | 3.30          | 2.20          |            | $>0.999$ |
| 透视次数/次   | 7.53±0.75     | 8.04±0.94     | -4.015     | $<0.001$ |
| 手术时间/min | 29.33±9.84    | 27.40±9.03    | 1.367      | 0.174    |

### 2.3 病理学和 mNGS 检测结果

病理学结果显示,急慢性炎症 168 例,其中急性炎症 90 例,以中性粒细胞浸润为主,考虑化脓性感染;慢性炎症 62 例,以淋巴细胞和单核细胞浸润为主,其中 24 例显示灶性肉芽肿;特殊染色结果显示,15 例抗酸染色阳性,考虑为结核,1 例过碘酸雪夫染色(PSA 染色)阳性,考虑为真菌感染。非感染性病变 11 例,其中 3 例为脊柱肿瘤,2 例为 Modic 变性,5 例为椎间盘退行性变。

mNGS 检测结果显示,其中排名前 4 的病原菌为结核分枝杆菌(26 例)、大肠埃希菌(42 例)、金黄色葡萄球菌(31 例)和羊布鲁菌(16 例);两种菌群同时感染的有 10 例,其中 2 例患者合并感染大肠埃希菌、结核分枝杆菌或羊布鲁菌。未检出 8 例,其中传统组 5 例,2 例患者病理显示肿瘤细胞,1 例患者根据病理显示 Modic 改变,其他 2 例未检出病原菌,病理显示退变的椎间盘组织;改良组 3 例,未检出 3 例患者中,1 例患者病理显示肿瘤细胞,1 例患者根据病理考虑 Modic 改变,1 例患者 T-SPOT 和 X-PERT 均显示阳性,积极行抗结核治疗,获得了较好的临床效果。

### 2.4 术中和术后并发症

两组均无硬脊膜损伤、椎管内血肿和腹腔血管器官损伤等并发症,然而,由于患者年龄、身体状况及神经根发育异常等原因,术后仍可能出现其他并发症,传统组有 2 例患者术中出现神经根症状,考虑为上腰椎椎间孔发育性较窄。传统 PKP 套管相对粗大,术中通过透视及时调整,术中和术后给予糖皮质激素,症状均有所缓解。1 例患者合并腰椎滑脱,导致其安全范围缩小,术后出现腰痛症状,给予非甾体类镇痛药后症状得到改善。改良组 1 例患者术中出现神经根症状,术后积极对症治疗后症状消失,可能与患者为高龄老年人,且 L2/3 节段椎体增生退变明显,以及 X 线不能清晰显示椎体及椎间隙影像有关;1 例患者术中出现血压升高,考虑为术中对神经根“干扰”,术中给予降压药物后,得到改善。两组在穿刺组织敏感度、手术时间和并发症发生率方面差异无统计学意义( $P>0.05$ )。改良组的术中透视次数[(8.04±0.94)次]略高于传统组[(7.53±0.75)次]( $P<0.001$ )。

## 3 讨论

腰椎间盘感染的发病率和诊断率逐年增高,该病多起病隐匿,且表现不典型。患者最常见症状是

位于病变椎骨水平的腰背部或腰骶部疼痛,该症状缺乏特异性,在成年人人群中腰痛患病率高达 30%,终生患病率则可达 80%,早期椎间盘炎和骨髓炎与特发性背痛症状相似,误诊率达 33.7%,且诊断平均延迟时间为 2.6~6 个月<sup>[4-8]</sup>。自发性椎间盘炎多见于儿童,而成人自发性病例则与高龄、糖尿病和全身感染相关,对于严重脊柱感染的患者,应在出现神经症状发生之前进行早期诊断,从而改善其预后和生活质量<sup>[9-10]</sup>。通常需要结合患者的临床特征、生化检查、影像检测手段和病理活检结果进行综合诊断。血液生化指标有助于筛查腰背部疼痛的原因:在椎间盘感染初步评估中,血沉和 C 反应蛋白炎症标志物生化指标灵敏度为 50%、特异度为 92.6%。然而,在 40% 的结核性化脓性骨髓炎患者中,其白细胞无异常<sup>[11-12]</sup>。增强核磁共振的终板强化是急性椎间盘炎早期特异性表现;数周后,X 线才可显示骨性侵蚀<sup>[13-14]</sup>。此外,脊柱真菌感染与脊柱结核的影像学表现比较相似,临床中应注意鉴别<sup>[15]</sup>。对于 MRI 禁忌患者,可选用增强 CT 扫描或 PET 扫描有助于明确诊断<sup>[16-17]</sup>。对于疑似椎间盘感染的患者,尽早确诊,有助于制定下一步的治疗方案,从而改善患者的生活质量。

脊柱经皮穿刺活检术最早由 Bell 描述。与开放脊柱活检相比,经皮穿刺活检具有创伤小、出血少、手术时间短等优点<sup>[18-19]</sup>。现有多种成像引导方式且实用性各不相同;超声检查限于颈椎浅表病变;X 线透视适用于下胸椎及腰骶椎;CT 为胸椎及颈椎首选;CT 透视适合高难度小病变<sup>[20]</sup>。CT 引导下穿刺活检成功率高于 C 臂,可见 CT 引导下可更精确地调整进针角度、方向和深度。然而其也存在着成本高、辐射大、时间长、无法连续监测、无法实时定位针头等缺点<sup>[21]</sup>,因此,对于腰骶椎通常选择在 X 线监视下进行病理取样活检。经皮脊柱活检术的并发症多发生在胸椎,常见的包括出血、神经损伤、气胸、骨折、过敏反应等急性并发症,以及感染或肿瘤扩散的晚期并发症,其发生率约为 1%~5%<sup>[22-28]</sup>。mNGS 在脊柱感染疾病领域具有较高的诊断和治疗价值,具有检测速度快、高效准确的优点,将 mNGS 与非诊断性图像引导活检结合,可以提供致病微生物学证据<sup>[29]</sup>。但是,微创手术通道的置入也可能对周围软组织产生挤压,从而引发医源性软组织损伤<sup>[30]</sup>。相关学者选择使用不同直径的工作通道进行病理活检取样,Marruzzo 等<sup>[31]</sup>设计了直径 7 mm 改良术式通道;Basu 等<sup>[32]</sup>使用内径分别为 3.7 mm 和 4.2 mm 的后凸成形术套管进行病理活检取样;

Yaffe 等<sup>[33]</sup>使用 Jamshidi 针对病变部位进行抽取取样。

综上所述,影响脊柱活检诊断准确性的因素包括操作者的经验、病变的大小、部位和性质等。改良术式结合 mNGS 具有以下特点和优势:①采用骨水泥针作为工作通道、髓核摘除钳作为取样工具,可实现严格的术后消毒和重复使用,从而大大降低患者费用,减少医疗资源的浪费。②以往的经皮椎弓根活检入路可能加剧椎体及其附着物的损伤,导致继发性医源性损伤。本研究采用的经椎间孔入路避免了这种损伤,从而减少了医源性创伤。③较小的工作通道使活检针和钳子的定位更加灵活。④结合 mNGS 对活检样本进行微生物检测,能够快速、准确地鉴定病原体,相较于传统培养方法,mNGS 能够检测细菌、真菌和病毒,显著提高了诊断准确性,并为临床治疗提供了重要的指导。

本研究结果显示,改良经皮椎间孔穿刺活检系统与传统 PKP 穿刺系统相比,在临床操作上具有一定的优势:首先,细通道技术的微创化。传统 PKP 套管的相对直径较大,在经椎间孔入路过程中,其较大的外径会增加对椎间孔周围的韧带、小关节以及神经根干扰的风险。相比之下,改良经皮椎间孔穿刺活检系统的工作通道外径较细,在维持手术视野的同时,能够最大限度地减少对穿刺路径上正常解剖结构的医源性机械损伤。这种微创化的优势不仅体现在切口大小上,更体现在对椎间盘周围组织的保护上。其次,改良后的经皮椎间孔穿刺活检术使用了髓核钳,能够优化取样标本的数量和质量。传统活检方法易造成细胞形态挤压变形,增加病理医师的观察难度,而改良术式配合使用微型髓核钳,能够高效率地对感染病灶的进行取样诊断。这种方式获取的病理组织块数量多、结构完整,为组织病理学的定性诊断提供了高质量的依据。同时,该方法还可用于 mNGS 检测,提供全面的病原体识别,尤其在传统培养方法敏感性较低的情况下,能够有效提高感染诊断的准确性,对病原体载量较低的早期感染病例具有重要的临床意义。

本研究患者术前的影像学特征与椎间盘感染相似,共有 8 例患者的 mNGS 检测结果呈阴性(传统组 5 例,改良组 3 例)。通过病理学及染色分析,其中 7 例确诊为真阴性(3 例经病理证实为脊柱肿瘤,2 例为 Modic 改变引起的无菌性终板炎,2 例为单纯椎间盘退变)。mNGS 的阴性结果与病理学发现高度一致,排除了感染性病变,避免了误诊和不必要的抗生素治疗。仅有 1 例(改良组)确诊为假阴性。

该患者的 mNGS 检测结果为阴性,但 T-SPOT 和 X-PERT 均为阳性,病理检查显示为肉芽肿性炎,经抗结核治疗后症状显著缓解。这可能与病原体载量低于 mNGS 的检测阈值有关。研究表明,在临床上对于疑似结核病例,仍需结合 T-SPOT、X-PERT 等检测技术进行综合判断。改良活检技术虽具有显著优势,但也存在一定的局限性,操作过程中需注意相关事项和技术要点。首先,由于穿刺通道狭窄,单次取样范围有限。为了获取足量的病理标本,需采用多点精准取样的解决方法,这可能需要多次穿刺,从而增加透视次数。因此,在进行活检前,需全面了解患者的病史、临床表现、影像学检查结果和治疗过程。并明确病变、脊髓和主要血管之间的空间关系,以准确定位病变的关键部位。其次,由于该操作是在 C 臂透视引导下进行的,操作过程中无法实时监测横截面成像,增加了取样不准确的风险,并可能对神经根造成潜在刺激。此外,操作者的经验也至关重要。缺乏经验的医生可能会在不同平面上出现针头倾斜过度或不足,从而导致术中或术后出现神经根症状。最后,需要注意术前停用抗生素的时机。抗生素使用对微生物学诊断的影响尚未明确,且诊断性活检前最佳停药时间尚存争议<sup>[33]</sup>。因此,建议综合考虑术中和术后的潜在并发症以及医疗和患者因素,以提高诊断的准确性并尽量减少不良事件的发生。综上所述,改良技术因其对精细化采样的需求,导致了术中透视次数略有增加,但其微创性和采样质量的提升为脊柱感染的精准诊疗提供了优化的临床解决方案。

本研究为回顾性单中心连续队列临床研究,样本量有限且缺乏随机对照,可能存在选择、时间偏倚以及未被控制的混杂因素。本研究虽采用了多因素 logistic 回归分析以校正多个潜在的混杂变量,但仍无法完全排除混杂因素的干扰。未来仍需要进行多中心、大规模的前瞻性随机对照研究,以进一步验证改良经皮椎间孔穿刺活检术的长期效益和普适性。随着病例数量的增加以及多中心、大规模的前瞻性随机对照研究的开展,该技术将在早期腰椎间盘感染的诊断中发挥越来越重要的作用。

本研究结果表明,在 C 臂引导下,改良的经皮椎间孔穿刺活检结合 mNGS 技术在早期诊断椎间盘感染中表现出可靠的诊断效果。该技术通过使用更细的工作通道结合多点精准采样策略获取病理样本,经过培养、染色和 mNGS 分析后,能够提供全面的病原体鉴定结果。特别是在传统培养方法敏感性较低的病例中,mNGS 可以显著提高感染诊断的准

确性。与使用传统 PKP 套件的诊断方法相比,该技术是一种安全且阳性标本获取率高的检查手段,具有微创、高效、诊断可靠以及减少医疗资源浪费等优势,适合于脊柱感染的早期诊断,并有望得到广泛应用。然而,其潜在的辐射暴露问题仍需通过大样本研究进一步验证。

## 参考文献:

- [1] Lener S, Hartmann S, Barbagallo GMV, et al. Management of spinal infection: a review of the literature [J]. *Acta Neurochir*, 2018, 160(3): 487-496.
- [2] 徐正源, 朱磊, 史航, 等. 脊柱化脓性感染的诊疗进展 [J]. *东南大学学报(医学版)*, 2023, 42(3): 487-491.  
XU Zhengyuan, ZHU Lei, SHI Hang, et al. Progress in diagnosis and treatment of spinal purulent infection [J]. *Journal of Southeast University (Medical Science Edition)*, 2023, 42(3): 487-491.
- [3] Marruzzo D, Mancini F, Ricciuti V, et al. Modified percutaneous biopsy of the spine: improvement of the technique [J]. *Eur Spine J*, 2023, 32(1): 221-227.
- [4] 王润生, 黄承军, 唐成. 脊柱感染继发腰大肌脓肿的诊断及微创治疗研究进展 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2024, 34(2): 206-210.  
WANG Runsheng, HUANG Chengjun, TANG Cheng. Study progress of diagnosis and minimally invasive treatment of psoas abscess secondary to spinal infection [J]. *Chinese Journal of Spine and Spinal Cord*, 2024, 34(2): 206-210.
- [5] 陈浩月, 王晓玉, 于润原, 等. 非特异性腰痛的研究进展 [J]. *中国医学创新*, 2024, 21(7): 169-173.  
CHEN Haoyue, WANG Xiaoyu, YU Runyuan, et al. Research progress of non-specific low back pain [J]. *Medical Innovation of China*, 2024, 21(7): 169-173.
- [6] Buranapanitkit B, Lim A, Geater A. Misdiagnosis in vertebral osteomyelitis: problems and factors [J]. *J Med Assoc Thai*, 2001, 84(12): 1743-1750.
- [7] Colmenero JD, Jiménez-Mejías ME, Reguera JM, et al. Tuberculous vertebral osteomyelitis in the new millennium: still a diagnostic and therapeutic challenge [J]. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*, 2004, 23(6): 477-483.
- [8] 罗伟刚, 尹园园, 任慧玲. 原发性脊柱感染的分析和治疗 [J]. *临床荟萃*, 2022, 37(6): 525-529.  
LUO Weigang, YIN Yuanyuan, REN Huiling. Analysis and treatment of primary spinal infection [J]. *Clinical Focus*, 2022, 37(6): 525-529.
- [9] Schömig F, Li Z, Becker L, et al. Gas within the intervertebral disc does not rule out spinal infection: a case series of 135 patients with spontaneous spondylodiscitis [J]. *Diagnostics*, 2022, 12(5): 1089.
- [10] 孙洋, 曾雪伟. MRI 椎旁软组织强化方式在脊柱感染中的鉴别意义 [J]. *影像研究与医学应用*, 2023, 7(1): 167-169.  
SUN Yang, ZENG Xuewei. Differential significance of MRI paravertebral soft tissue enhancement in spinal infection [J]. *Journal of Imaging Research and Medical Applications*, 2023, 7(1): 167-169.
- [11] 李昶荣, 叶桥钦, 文康彦. CT 影像联合血清 C 反应蛋白检测对术后器械性脊柱感染的诊断价值 [J]. *广东医科大学学报*, 2021, 39(3): 352-356.  
LI Changrong, YE Qiaoqin, WEN Kangyan. Clinical value of CT image combined with serum C-reactive protein detection in the diagnosis of post-operative instrumented spine infection [J]. *Journal of Guangdong Medical College*, 2021, 39(3): 352-356.
- [12] Digby JM, Kersley JB. Pyogenic non-tuberculous spinal infection: an analysis of thirty cases [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1979, 61(1): 47-55.
- [13] 王韬, 吴佳宏, 马朋朋, 等. 非特异性脊柱感染误诊分析并文献复习 [J]. *临床误诊误治*, 2023, 36(2): 15-18.  
WANG Tao, WU Jiahong, MA Pengpeng, et al. Misdiagnosis analysis of non-specific spinal infection and literature review [J]. *Clinical Misdiagnosis & Mistherapy*, 2023, 36(2): 15-18.
- [14] Dunbar JAT, Sandoe JAT, Rao AS, et al. The MRI appearances of early vertebral osteomyelitis and discitis [J]. *Clin Radiol*, 2010, 65(12): 974-981.
- [15] 徐仲阳, 吕超亮, 卢公标, 等. 脊柱真菌感染研究进展 [J/OL]. *中华实验和临床感染病杂志(电子版)*, 2021, 15(1): 11-14.  
XU Zhongyang, LYU Chaoliang, LU Gongbiao, et al. Progress on fungal vertebral osteomyelitis [J/OL]. *Chinese Journal of Experimental and Clinical Infectious Diseases (Electronic Edition)*, 2021, 15(1): 11-14.
- [16] Love C, Patel M, Lonner BS, et al. Diagnosing spinal osteomyelitis: a comparison of bone and Ga-67 scintigraphy and magnetic resonance imaging [J]. *Clin Nucl Med*, 2000, 25(12): 963-977.
- [17] Ohtori S, Suzuki M, Koshi T, et al. 18F-fluorodeoxyglucose-PET for patients with suspected spondylitis showing modic change [J]. *Spine*, 2010, 35(26): 1599-1603.
- [18] Ball RP. Needle (aspiration) biopsy [J]. *J Am Med Assoc*, 1936, 107(17): 1381. doi:10.1001/jama.1936.927704300040106
- [19] Saththianathan M, Mallinson PI, Munk PL, et al. Percutaneous spine biopsy: reaching those hard-to-reach places

- [J]. *Skeletal Radiol*, 2023, 52(10): 1803-1814.
- [20] Tehranzadeh J, Tao C, Browning CA. Percutaneous needle biopsy of the spine[J]. *Acta Radiol*, 2007, 48(8): 860-868.
- [21] Liang Y, Liu P, Jiang LB, et al. Value of CT-guided core needle biopsy in diagnosing spinal lesions; a comparison study[J]. *Orthop Surg*, 2019, 11(1): 60-65.
- [22] 齐典文, 赵茗, 马天晓, 等. CT引导下经皮粗针穿刺活检对上中胸椎病变的诊断价值[J]. *实用骨科杂志*, 2021, 27(2): 157-161.
- QI Dianwen, ZHAO Ming, MA Tianxiao, et al. Diagnostic value of CT-guided percutaneous coarse needle biopsy in upper and middle thoracic spine lesions [J]. *Journal of Practical Orthopaedics*, 2021, 27(2): 157-161.
- [23] Murphy WA, Destouet JM, Gilula LA. Percutaneous skeletal biopsy 1981: a procedure for radiologists; results, review, and recommendations [J]. *Radiology*, 1981, 139(3): 545-549.
- [24] Appel NB, Gilula LA. "Bull's-eye" modification for transpedicular biopsy and vertebroplasty [J]. *Am J Roentgenol*, 2001, 177(6): 1387-1389.
- [25] Saththianathan M, Mallinson PI, Munk PL, et al. Percutaneous spine biopsy: reaching those hard-to-reach places[J]. *Skeletal Radiol*, 2023, 52(10): 1803-1814.
- [26] Hadjipavlou AG, Kontakis GM, Gaitanis JN, et al. Effectiveness and pitfalls of percutaneous transpedicle biopsy of the spine[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2003, 411: 54-60. doi:10.1097/01.blo.0000068184.83581.86
- [27] Nourbakhsh A, Hanson ZC. Percutaneous spine biopsy: a review of the current literature[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2021, 29(14): 681-692.
- [28] Yaffe D, Greenberg G, Leitner J, et al. CT-guided percutaneous biopsy of thoracic and lumbar spine: a new coaxial technique[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2003, 24(10): 2111-2113.
- [29] Yin C, Cong Y, Wang H, et al. Pathogenic detection by metagenomic next-generation sequencing in spinal infections[J]. *Spine*, 2025, 50(4): 70-75.
- [30] 赵赓, 买若鹏, 赵景才, 等. 中国人适应性腰椎微创通道: 基于CT影像学测量下的解剖数据分析[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2023, 61(3): 90-96.
- ZHAO Geng, MAI Ruopeng, ZHAO Jingcai, et al. Minimally invasive channel of the lumbar spine surgery for Chinese; anatomical data based on CT imaging measurements[J]. *Journal of Shandong University (Health Sciences)*, 2023, 61(3): 90-96.
- [31] Marruzzo D, Mancini F, Ricciuti V, et al. Modified percutaneous biopsy of the spine; improvement of the technique[J]. *Eur Spine J*, 2023, 32(1): 221-227.
- [32] Basu S, Gala RB, Solanki AM. Percutaneous wide bore needle biopsy for spinal lesions using the kyphoplasty cannula: a technical note [J]. *Eur Spine J*, 2021, 30(10): 2852-2856.
- [33] Muscogliati R, Akil H, AlAchkar M, et al. The biopsy dilemma in spinal infections; timing of antibiotics and diagnostic yield[J]. *Eur Spine J*, 2025: 1-14. doi:10.1007/s00586-025-09662-7

(编辑:徐苗蓁)