

腰椎化脓性感染的研究进展

李松^{1,2} 张聃¹ 罗满¹ 刘骏鹏² 王韬² 史明^{1△}

[摘要] 脊柱化脓性感染是脊柱外科领域的重要临床问题,腰椎是此类感染最常累及的部位,这与该节段机械负荷高、活动度大、血供丰富及退行性病变高发等因素密切相关,虽总体发病率不高,但腰椎化脓性感染可导致严重的神经功能损害、脊柱结构失稳及长期功能障碍,故而整合其诊治过程具有显著的临床意义。系统综述了该疾病在流行病学特征、病理生理机制、临床表现、诊断方法、治疗干预及预后评估等方面的研究进展。

[关键词] 腰椎化脓性感染;流行病学;病因;诊断;治疗;综述

[中图分类号] R681.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2026)05-0107-06

DOI: 10. 20085/j. cnki. issn1005-0205. 260516

Research Progress on Pyogenic Infection of the Lumbar Spine

LI Song^{1,2} ZHANG Dan¹ LUO Man¹ LIU Junpeng² WANG Tao² SHI Ming^{1△}

¹ International Zhuang Medicine Hospital Affiliated to Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning 530200, China;

² Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning 530200, China.

Abstract Pyogenic spinal infections represent a significant clinical challenge in the field of spinal surgery, with the lumbar spine being the most frequently affected site. This predilection is closely associated with factors such as high mechanical stress, a substantial range of motion, a rich blood supply, and a high incidence of degenerative changes in this region. Although the overall incidence is relatively low, lumbar suppurative spinal infections (LSSI) can lead to severe neurological impairment, spinal instability, and long-term functional disabilities, underscoring the considerable clinical importance of their diagnosis and management. This article provides a systematic review of the recent advances in the epidemiological characteristics, pathophysiological mechanisms, clinical manifestations, diagnostic approaches, therapeutic interventions, and prognostic assessments of this condition.

Keywords: pyogenic infection of the lumbar spine; epidemiology; etiology; diagnosis; treatment; summary

腰椎化脓性感染(Lumbar Suppurative Spinal Infections, LSSI)主要是由金黄色葡萄球菌、链球菌及大肠杆菌等病原体引起脓性物质聚集的急性炎症反应^[1]。首选抗生素控制感染,若出现细菌耐药、死骨形成、脓毒血症或神经压迫等并发症时,则需手术介入^[2],手术干预不仅增加患者创伤与痛苦,还显著提升

医疗支出。脊柱化脓性感染作为一种消耗性疾病,随着人口老龄化,发病率持续攀升,据国内研究^[3]报道其死亡率已控制在 20% 以下,但腰椎化脓性感染早期临床表现不典型,早期诊断困难,延误诊治可能导致感染扩散、腰椎畸形、神经功能损伤、病理性骨折等风险,严重者可能出现脊髓损伤导致瘫痪甚至危及生命^[4]。

1 腰椎化脓性感染的流行病学调查与病因

研究发现普通人群脊柱感染发病率约 2.4/10 万,而老年人群(≥ 65 岁)升至 6.5/10 万^[5]。脊柱感染在肌肉骨骼感染中的占比约为 2%~7%^[6],其中累及腰椎约占 50%^[7],且在 50 岁以上的中老年群体中,男性患脊柱化脓性感染的概率是女性的 2 倍^[6]。金黄色葡萄球菌是腰椎化脓性感染主要的致病菌,其感染比例占 55%~80%^[8]。广谱抗菌药物的普遍使用,由大肠埃希菌、变形杆菌与铜绿假单胞菌等革兰阴性菌

基金项目:广西重点研发计划项目(桂科 AB25069079)

国家中医优势专科建设项目(桂中医药发[2025]4号)

广西中医药适宜技术开发与推广项目(GZSY2025045)

广西中医药大学 2025 年研究生教育创新计划项目

(YCSY2025089)

¹ 广西中医药大学附属国际壮医医院(南宁,530200)

² 广西中医药大学

[△]通信作者 E-mail:shiming621@126.com

所致感染比例呈现上升态势^[9],其中铜绿假单胞菌感染者的死亡风险最高^[10]。约20%的病例中存在厌氧菌、真菌等多种病原体混合感染,约30%的临床病例培养结果阴性^[11]。低毒力致病菌更易感染免疫缺陷患者^[7],感染途径包括动脉血行传播、直接接种、邻近感染灶的蔓延,以及椎静脉系统的逆行扩散。其中血源性传播最为普遍,且以动脉途径为主^[12],微生物可经椎体滋养动脉或Batson椎旁静脉丛侵入脊柱结构。由于腰椎节段性动脉同时为相邻两个椎体及其间椎间盘供血,同时腰椎相较于颈、胸椎活动度更大,感染往往同时侵犯双侧椎体终板,并可进一步波及椎间盘、椎旁软组织及腰大肌等区域^[8]。

据病变累及的解剖部位,腰椎感染可分为硬膜外脓肿、椎间盘炎与化脓性骨髓炎^[13],其常见原发病灶多源于泌尿系统感染、皮肤及软组织感染或呼吸道感染等部位^[8]。腰椎术后患者中,肥胖可引发糖脂代谢失调,导致机体处于慢性炎症与高应激状态,进而削弱免疫防御机制,增加切口脂肪液化及感染风险^[3],少数病例与生殖道损伤(如高危性行为相关黏膜破损)有关^[14]。腰椎术后引起的医源性感染同样不能被忽视,研究发现中老年患者腰椎术后深部切口感染的主要致病微生物包括大肠埃希菌、铜绿假单胞菌、金黄色葡萄球菌及表皮葡萄球菌,这些病原体对哌拉西林、头孢唑林和青霉素等常用抗菌药物均呈现较高耐药率^[15];术前合并尿路感染、糖尿病、体重指数 $>25\text{ kg/m}^2$ 、饮酒病史以及术后引流时间不足、术中输血行为是腰椎术后深部切口感染的独立危险因素^[16]。随着腰椎穿刺活检、神经阻滞治疗、硬膜外麻醉、小关节突的阻滞、射频消融术以及椎体成形术等手术运用于临床治疗,腰椎感染风险亦相应上升^[3]。

2 临床表现

腰椎化脓性感染早期临床表现不典型,是造成诊断延误的主要原因。症状受病原体毒力与宿主免疫力共同影响,可慢性、亚急性及急性起病^[17],主要表现为持续性剧烈的腰背痛,严重时伴腰部肌肉痉挛和僵硬,致使活动严重受限,疼痛程度常与体位无关,休息难以缓解。病程较长时,感染部位的压痛愈发明显^[18]。约50%患者伴发热,但病程早期、高龄或免疫力低下者发热症状常不典型,仅表现为乏力、纳差、体重减轻等慢性炎症表现^[8]。重症感染或免疫抑制者易出现寒战、高热等败血症征象。若脓肿压迫脊髓及神经根,则导致下肢运动减退、感觉异常、麻木甚至瘫痪等神经损害表现,严重时可能造成神经功能不可逆损伤^[19]。

3 诊断

腰椎化脓性感染的诊断需结合临床表现、实验室检查、影像学表现和微生物培养^[8]。炎症指标中,C反应蛋白和红细胞沉降率在影像学证据不充足时的初步筛查最有价值^[9]。C反应蛋白因其在感染活动期的敏感性,据研究^[20]腰痛患者C反应蛋白 $>63\text{ mg/L}$ 时,

感染性脊柱炎的阳性预测值较高,常用于感染评估与治疗反应监测。降钙素原在疗效评估中亦存在参考价值,然其敏感度不及C反应蛋白^[8]。病原生物学检查是明确病原体及指导抗菌药物选择的主要手段^[21]。多项研究表明,与传统培养方法相比,宏基因组新一代测序技术(NGS)等新型核酸检测技术在骨关节感染诊断中具有敏感性及检出率高、检测细菌多样广泛、高效快速等优点,NGS阳性率可达到62.5%^[22],仅需数小时即可得出微生物的遗传信息,但需严格防范样本污染可能带来的干扰,同时高昂的检查费用也限制了其常规应用。

影像学评估手段主要包括X线、电子计算机断层扫描(CT)、磁共振成像(MRI)、氟脱氧葡萄糖正电子发射断层扫描(FDG-PET/CT)及核素骨扫描等^[23]。X线检查虽常规应用于初期筛查,但在感染初期其检测能力不足,椎体骨质破坏与椎间隙狭窄等典型影像学改变通常感染2~4周方能显现^[13]。该技术对软组织病变的显示能力有限,优点在于经济便捷,可宏观评估骨质整体状况,适用于高危患者的初步筛查或随访中观察骨质修复情况。CT借断层成像与三维重建技术,能够清晰呈现椎体骨质破坏的细微特征,包括溶骨性病灶、死骨形成以及椎旁软组织肿块等。在腰椎化脓性感染患者中,CT检查常表现为椎体边缘棘状骨质增生、骨桥形成、椎旁软组织肿胀及椎体骨质与椎间结构的破坏现象。CT常用于MRI禁忌、评估骨质破坏或手术规划(如椎旁脓肿引流或椎板切除术等)和辅助制定手术方案时提供重要参考^[8,24],但其软组织分辨率较差,难以准确区分炎性渗出与肿瘤浸润,同时其辐射量大,儿童及短时间需多次复查的患者需慎重选择^[25]。

MRI是腰椎化脓性感染影像学诊断的首选方法(无禁忌证时),其凭借高软组织分辨率能够清晰显示^[26]感染椎体在 T_1 加权像呈低信号, T_2 加权像呈高信号,增强扫描后明显强化;受累椎间盘在 T_2 序列呈高信号,伴随椎间隙高度的丢失及终板虫蚀样改变,晚期可能伴有椎体结构的破坏;感染扩散至椎旁软组织或硬膜外区域后可形成脓肿,其在 T_2 加权像上表现为呈高信号区,并在增强扫描时脓肿壁边缘强化。增强MRI可通过特征性强化模式(如脓肿边缘环形强化、炎性组织弥漫性强化)区分感染与肿瘤,并用于评估抗感染疗效。腰椎感染因其活动度大易导致多灶性感染,必要时完善全脊柱MRI检查可评估病变范围,以避免漏诊^[27],但MRI对钙化灶显示能力有限、扫描耗时较长,且不适用有禁忌证的患者。当MRI影像学特征不典型时,放射性核素骨扫描如镓-67、锝-99m-二磷酸盐骨闪烁显像、体外标记的白细胞成像,这些技术通过检测骨代谢活跃区域的示踪剂浓聚,有助于早期提示感染性病变,敏感度高,但其特异度低,且在脊柱肿瘤和创伤后可能出现假阳性结果^[28],故核素显像常

作为筛查工具,需结合 MRI 及微生物学证据综合判断。

FDG-PET/CT 适用于临床表现不典型、术后感染或全身病灶筛查。感染区域因免疫细胞高代谢状态而大量摄取氟代脱氧葡萄糖,可在解剖结构改变前检测到代谢异常^[29]。PET-CT 通过识别组织代谢活性差异可有效区分是否为感染性病变,为脊柱感染的精确诊断及全身病灶筛查提供重要依据。研究表明该技术对潜在感染过程的检测敏感性和特异性显著优于 MRI^[30],有研究者推荐其作为诊断术后脊柱感染的首选影像学评估方法^[31],但较高的检查费用及辐射暴露风险限制了该技术在儿童、孕妇等特殊人群中的广泛应用。

鉴别诊断上需与脊柱结核、布鲁氏菌性脊柱炎、真菌性脊柱炎、自发性脊柱炎、退行性椎间盘疾病等鉴别^[8]。一项最新研究发现^[32],重复 CT 扫描中观察到椎间盘“真空征消失”可近乎 100% 准确区分化脓性脊柱炎与退行性椎间盘疾病。病原体的明确是诊疗的关键,其中血培养和病理活检结果尤为重要^[9]。研究显示腰椎术后深部切口感染以革兰阴性菌多见,譬如大肠埃希菌、铜绿假单胞菌;而在革兰阳性菌感染中以金黄色葡萄球菌、表皮葡萄球菌多见,化脓性改变以金黄色葡萄球菌最为常见^[15]。为提高检测阳性率,应在抗生素治疗前优先获取微生物样本,腰椎化脓性感染往往以局部慢性感染、低毒性感染为主,血培养阳性率仅有 15.46%^[16],此时穿刺活检成为关键诊断步骤,但因病变部位深、取材困难,仍存在假阴性可能^[33],且需注意穿刺时血管神经的损伤。对于临床诊断困难的病例,可能需要进行手术获取组织病理活检明确诊断。

4 治疗

4.1 保守治疗

对于病原学结果未明确、临床症状较轻、无法耐受手术、血培养呈阴性而活检阳性,且不伴有神经功能损害及明显骨质破坏的早期腰椎化脓性感染患者,建议早期经验性使用广谱抗菌药物(如万古霉素^[1])以覆盖常见致病菌感染,同时追踪病原学及药物敏感性报告,及时调整治疗方案。革兰阳性菌感染推荐采用半合成青霉素或头孢菌素类药物;针对耐甲氧西林菌株,宜选择万古霉素、替考拉宁或利奈唑胺。革兰阴性菌感染需区分假单胞菌属:假单胞菌感染需选用具抗假单胞菌活性的 β -内酰胺类抗生素,非假单胞菌感染则可应用第三代头孢菌素、氟喹诺酮类或氨基糖苷类药物。抗生素总疗程通常为 6~12 周:静脉给药至临床症状及炎症指标改善后,转为口服,普通患者总疗程不短于 6 周;脓毒血症或免疫力低下者需延长至 12 周以上,直至临床症状与实验室指标完全恢复正常^[34]。研究显示,短于 4 周的抗菌治疗复发率可达 25%^[1]。治疗期间应动态监测实验室检查指标及影像学检查,防止药物毒副作用,以及及时评估疗效并调整治疗方案。对

于保守治疗无效的患者,如果出现顽固性腰痛、脊柱畸形进行性加重、小关节失稳,甚至脊髓神经功能障碍等症状,需评估手术介入的必要性^[35]。高压氧也作为治疗腰椎化脓性感染方案之一,其可增加组织氧含量,增强抗感染作用,以促进感染微生物根除、加速治疗进程,可能通过提高病变组织内免疫物质以及抗生素聚集,增强抗菌药物渗透性,以增强疗效^[34]。

4.2 手术治疗

手术的目的主要是彻底清创、神经减压、重建脊柱稳定性以及促进愈合与快速康复。对于存在脊髓压迫、腰椎失稳/畸形、经 2~3 周规范抗菌治疗无效以及死骨形成或感染扩散的患者,应尽早进行穿刺引流或微创/开放手术干预,早期实施穿刺引流或外科清创在控制复发率、降低死亡率及缩短住院周期方面均明显优于非手术治疗^[36]。研究证实^[1]血源性化脓性脊柱炎急性期实施手术安全有效,治疗延误则易导致不良预后^[7]。联合敏感抗生素的手术治疗方案在改善患者生存质量方面显著优于单纯药物治疗^[37]。

手术方式包括“微创术式(经皮穿刺引流、内镜下清创灌注)”及“开放术式(腰椎前/后路清创+植骨融合+内固定)”。对于未合并椎间隙变窄/脊柱失稳的患者,若脓肿局限可以通过 CT 引导下穿刺引流处理,若脓肿形成伴脊柱失稳及神经根症状,需行椎间隙清创、椎板切除和/或经椎弓根和肋横突入路的硬膜囊减压、硬膜外脓肿引流或切除,以及采用自植骨椎间融合,必要时可在感染控制后行内固定术以重建脊柱稳定性。充分引流是治疗腰椎化脓性感染的关键,传统置管引流需将导管置于病灶深部,引流范围有限且易堵塞,需敞开换药,增加二次感染风险。近年负压封闭引流(VSD)技术在脊柱感染中应用广泛,优势在于可高效引流、改善微循环、避免交叉感染,有研究报道^[38]29 例脊柱术后深部感染患者应用负压封闭引流技术后,切口均愈合良好,平均随访 32(10~56)个月,感染无复发,内固定均得以保留。邢皓等^[39]研究发现负压封闭引流技术组与普通负压引流组相比,引流更为彻底,其术后短期症状改善情况更具优势。负压封闭引流技术明显优于传统清创后置管冲洗引流方法,但对于脑脊液漏或凝血功能障碍的患者,需谨慎选择。

前路术式可实现病灶的充分显露与彻底清除,结合自体髂骨植骨可提供有效支撑,且避免后柱结构破坏,降低术中椎管污染风险。后路椎弓根螺钉固定不仅能提供即时稳定性、矫正脊柱畸形,且因内固定物远离感染灶,可减少细菌黏附风险。由于骨质严重破坏,为稳定脊柱、预防畸形发生,术中常需要进行骨移植融合,自体骨移植(三皮质髂骨、肋骨或腓骨)作为传统标准方案具有较高融合率,研究发现使用聚醚醚酮(PEEK)融合器能达到同等疗效,且未增加感染复发风险^[40],聚醚醚酮材料本身具有与皮质骨接近的弹性模量,能有效减少应力遮挡,但其生物惰性表面不利于

骨整合且无法主动抗感染。因此,在感染性脊柱手术中,聚醚醚酮融合器常作为结构性支架,其腔体内填充载有抗生素(如万古霉素、妥布霉素)的自体骨、同种异体骨或硫酸钙骨水泥。由聚醚醚酮提供初始力学支撑,而载药核心则在早期高浓度释放抗生素、后期诱导成骨,实现了力学性能与感染控制的协同作用。骨形态发生蛋白(BMP)具有调节多种骨骼发育和骨形成的重要作用,解决在感染和清创后成骨难题,被应用于腰椎化脓性感染的手术治疗中,不增加感染复发、翻修手术或神经根炎发生率^[41],骨形态发生蛋白可强力诱导成骨,加速生物力学融合的进程,从而缩短感染环境下脊柱恢复稳定的时间,同时避免取骨区损伤,节省手术时间,但异体骨有一定的自身免疫风险。另外,聚醚醚酮融合器适用于中度骨缺损,钛网或人工椎体则用于严重骨缺损。Liljenqvist等^[42]使用可调节长度的钛网对20例有椎体破坏的化脓性脊柱炎患者进行治疗,在平均23个月的随访中,所有患者均实现了骨性融合且无感染复发,无钛网移位、迁移或沉降的病例。未来研究聚焦于表面改性技术(如构建多孔涂层、载药水凝胶层或抗菌离子涂层)将其从单纯的力学支撑物,升级为能局部释放抗生素的“主动抗菌植入物”,以实现药物控释。于达^[43]研究发现钛金属表面抗菌肽LL-37涂层可减少细菌的黏附并可抑制细菌生物膜的生成,有优良的抗菌性能及良好的生物相容性,且可促成骨细胞黏附活性,并未引发过敏反应或细胞毒性。若感染菌毒力强、周围组织炎症重、脓肿弥散难以“彻底”清除,还应考虑一期病灶清创引流,二期植骨融合内固定重建脊柱稳定性。针对多节段复杂性腰椎化脓性感染,有研究者提出三期手术方案^[44]:Ⅰ期后路椎板切除减压,Ⅱ期后路固定,Ⅲ期前路病灶清创、椎体切除及自体骨植骨融合,以提高手术安全性并改善预后,加速康复。而关于腰椎化脓性感染内固定的选择,目前仍以椎弓根钉棒系统为主流固定方式,钛合金的材质使得其能获得与人体骨组织更相近的生物力学性能,但腰椎化脓性感染患者的金属内固定表面容易形成细菌生物膜,致使抗生素难以穿透,同时使细菌产生抗药性,增大治疗难度,故如何解决脊柱内固定材料与抗生素的结合问题仍是目前的研究热点之一。

内窥镜等仪器的广泛应用,使微创手术进入人们的视野,微创技术因其创伤小、出血少、术后卧床时间少等优点逐渐被广泛接受,特别是经皮内窥镜技术,包括经椎间孔入路和经椎板间入路。通过全可视椎间孔镜治疗腰椎椎间隙感染,随访2年发现并未影响责任节段的脊柱稳定性,随访患者腰椎日本骨科协会评分为27分(术前为8分),治疗有效率达90.47%^[45],或可避免二期行脊柱内固定术。若伴脓肿形成,可联合持续灌注引流治疗,可有效提高病灶清除率^[46]。微创通道辅助技术的应用相比单纯内镜技术,操作空间更大,允许进行更彻底的清创和更可靠的椎间植骨融合,同时保

留了微创的优势,如椎旁入路或极外侧入路。斜外侧椎间融合通道技术联合后路固定可微创完成清创、畸形矫正与稳定性重建^[47]。Yamada等^[48]发现后外侧全内镜清创冲洗治疗64例化脓性脊柱炎有效,随访2年以上发现感染治愈53例(82.8%),慢性感染或复发9例(17.2%),椎间脓肿范围大、破坏脊柱稳定是复发主要原因,此时需考虑结合内固定术。微创术式虽简单有效,但视野暴露有限,难以彻底咬除病损椎体,椎间融合程度也不如开放手术。

4.3 其他治疗

对于腰椎化脓性感染患者,还需进行营养支持、对症止痛治疗、功能康复或选择性使用中医药辅助治疗。围手术期及感染控制阶段的营养强化对维持免疫功能与促进组织修复具有关键作用,鼓励患者补充优质蛋白及维生素丰富的食物,必要时可予肠外营养或输血制品,使患者可在短期内免疫力提高,减少并发症。慢性腰痛作为该病的典型临床表现,需通过药物干预与物理疗法予以缓解,以改善患者的生存质量;术后系统性的康复训练可促进脊柱生理功能恢复,减少并发症。

5 预后

致病微生物类型及毒力、感染波及范围、诊断及时性、抗生素使用时长、宿主免疫力及治疗规范性共同影响预后。研究表明^[49],若治疗起始2周内C反应蛋白与红细胞沉降率显著下降,常提示预后良好;而延迟治疗易迁延为慢性感染或神经功能损伤。合并完全性神经损伤且延误治疗者,预后不佳,保守治疗的患者预后受高龄、免疫力、基础病等因素影响,老年患者、脓毒血症患者等预后不良^[50]。营养状况、健康宣教与功能锻炼也是影响预后的重要因素。早期诊断对糖尿病患者、免疫缺陷患者腰椎化脓性感染的愈后极其重要,Kals等^[51]报道了1例Ⅱ型糖尿病合并脊髓硬膜外脓肿患者,起初仅表现为腰背部疼痛,经MRI确诊后急诊行外科手术取得良好的预后。HIV阳性患者发生脊柱感染往往伴随着高死亡率,与其免疫力低下有关,研究发现HIV阳性患者的手术方式选择与术后并发症率增加无关,不影响手术方案的决策^[52]。但年老、糖尿病患者、HIV感染者更易发生脊柱手术切口愈合不良,其中艾滋病患者愈合不良率可达75%^[53],因此免疫缺陷患者围手术期需给予高度重视,术前进行免疫功能评估和风险预测,对预测患者预后是有意义的。

6 结语

腰椎化脓性感染的诊疗是一个复杂的过程,发病率虽低,但病情隐匿,发病早期常无典型症状,应综合病史、实验室检查、影像学检查、组织病理学检查、活检细菌培养以及下一代测序技术检查等方法,尽早确立临床及微生物学诊断。对于出现腰痛、发热等症状的患者,尤其是合并糖尿病、免疫抑制等高危因素的个

体,应迅速进行相应的辅助检查评估。治疗上,其病理机制尚未完全阐明,限制了靶向治疗在这方面的进展。对于腰椎化脓性感染的治疗核心是控制感染、维持脊柱稳定性、矫正畸形、解除压迫、清创引流、去除坏死组织,以及疼痛管理。保守治疗是大部分患者的首选,早期保守治疗可以控制感染、减轻疼痛、保护神经功能。经过保守治疗无效的患者,或者脓肿压迫脊髓、神经损害进行性加重的患者,则需要果断进行手术治疗。减压、清创、稳定重建、矫正畸形及术后引流是手术重点,术中可使用的新型材料被证明安全有效。腰椎化脓性感染患者通常免疫力低下、基础疾病多,对传统开放脊柱手术耐受性差,机器人引导下的穿刺活检术联合新型核酸检测、脊柱微创技术和高压氧治疗的出现,为此类患者的治疗提供了新的途径。未来可加强基础研究明确发病机制,探索更安全有效的治疗策略。

参考文献

- [1] GUO W, WANG M, CHEN G F, et al. Early surgery with antibiotic medication was effective and efficient in treating pyogenic spondylodiscitis[J]. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2021, 22(1): 288.
- [2] GIORGI H, BLONDEL B, ADETCHESSI T, et al. Early percutaneous fixation of spinal thoracolumbar fractures in polytrauma patients[J]. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 2014, 100(5): 449-454.
- [3] 欧肇兰, 罗春晓, 张慧玲, 等. 脊柱外科感染临床流行病学及影响因素[J]. *中华医院感染学杂志*, 2020, 30(19): 3000-3004.
- [4] URRUTIA J, BONO C M. Update on the diagnosis and management of spinal infections[J]. *Instructional Course Lectures*, 2022, 71: 439-449.
- [5] SALEH E S, VASILEFF C C, OMARI A M, et al. The diagnosis and management of pediatric spine infections [J]. *Cureus*, 2021, 13(7): e16748.
- [6] 李志兵. 内镜下病灶清除万古霉素硫酸钙置入治疗腰椎化脓性感染的疗效研究[D]. 南宁: 广西中医药大学, 2025.
- [7] LENER S, HARTMANN S, BARBAGALLO G M V, et al. Management of spinal infection: a review of the literature[J]. *Acta Neurochirurgica*, 2018, 160(3): 487-496.
- [8] SATO K, YAMADA K, YOKOSUKA K, et al. Pyogenic spondylitis: clinical features, diagnosis and treatment[J]. *The Kurume Medical Journal*, 2019, 65(3): 83-89.
- [9] KIM N J. Microbiologic diagnosis of pyogenic spondylitis[J]. *Infection & Chemotherapy*, 2021, 53(2): 238-246.
- [10] ZIARKO T P, WALTER N, SCHINDLER M, et al. Risk factors for the in-hospital mortality in pyogenic vertebral osteomyelitis: a cross-sectional study on 9 753 patients[J]. *Journal of Clinical Medicine*, 2023, 12(14): 4805.
- [11] BALCESCU C, ODEH K, ROSINSKI A, et al. Pyogenic spinal infections warrant a total spine MRI[J]. *Journal of Bone and Joint Infection*, 2023, 8(1): 1-9.
- [12] TSANTES A G, PAPAPOPOULOS D V, VRIONI G, et al. Spinal infections: an update[J]. *Microorganisms*, 2020, 8(4): 476.
- [13] ALJAWADI A, JAHANGIR N, JEELANI A, et al. Management of pyogenic spinal infection, review of literature[J]. *Journal of Orthopaedics*, 2019, 16(6): 508-512.
- [14] KOLAKOWSKA A, EL ALAOU F, BEN ALBA H, et al. Vaginal microbiota as an unusual cause of spondylodiscitis[J]. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 2022, 306(1): 109-114.
- [15] 朱乘春, 冯大雄, 杨启远, 等. 老年腰椎骨折术后深部切口感染病原菌耐药性及危险因素分析[J]. *中国病原生物学杂志*, 2025, 20(1): 90-94.
- [16] 王仕永, 姚汝斌, 任莉荣, 等. 腰椎融合术后切口深部感染的危险因素分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2020, 30(10): 872-879.
- [17] KRAMER A, THAVARAJASINGAM S G, NEUHOFF J, et al. Diagnosis and management of de novo non-specific spinal infections; European Association of Neurosurgical Societies (EANS) Spine Section Delphi consensus recommendations[J]. *Brain and Spine*, 2025, 5: 104178.
- [18] YOO L J H, ZULKIFLI M D, O'CONNOR M, et al. Parvimonas micra spondylodiscitis with psoas abscess[J]. *BMJ Case Reports*, 2019, 12(11): e232040.
- [19] 于海宽, 张成程, 刘耀升. 厌氧菌感染性脊柱炎诊断与治疗研究进展[J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2025, 18(8): 758-764.
- [20] JEAN M, IRISSON J O, GRAS G, et al. Diagnostic delay of pyogenic vertebral osteomyelitis and its associated factors[J]. *Scandinavian Journal of Rheumatology*, 2017, 46(1): 64-68.
- [21] BAE J Y, KIM C J, KIM U J, et al. Concordance of results of blood and tissue cultures from patients with pyogenic spondylitis: a retrospective cohort study[J]. *Clinical Microbiology and Infection*, 2018, 24(3): 279-282.
- [22] MA C Y, WU H B, CHEN G, et al. The potential of metagenomic next-generation sequencing in diagnosis of spinal infection: a retrospective study[J]. *European Spine Journal*, 2022, 31(2): 442-447.
- [23] LIU X Y, ZHENG M M, JIANG Z S, et al. Computed tomography imaging characteristics help to differentiate pyogenic spondylitis from brucellar spondylitis[J]. *European Spine Journal*, 2020, 29(7): 1490-1498.
- [24] SHROYER S, BOYS G, APRIL M D, et al. Imaging characteristics and CT sensitivity for pyogenic spinal infections[J]. *The American Journal of Emergency Medicine*, 2022, 58: 148-153.
- [25] COSCIA M F, DENYS G A, WACK M F. Propionibacterium acnes, coagulase-negative staphylococcus, and the "biofilm-like" intervertebral disc [J]. *Spine*, 2016, 41(24): 1860-1865.
- [26] ROTZINGER R, OMIDI R, GEBHARD H, et al. Spondylodiscitis and epidural abscesses[J]. *Der Radiologe*, 2021, 61(3): 275-282.
- [27] DHODAPKAR M M, PATEL T, RUBIO D R. Imaging in spinal infections: current status and future directions[J]. *North American Spine Society Journal*, 2023, 16: 100275.

- [28] RICHARDS T, STEPHEN J, LUI C L. Severe disseminated *Veillonella parvula* infection including endocarditis, bilateral psoas abscess, discitis, and osteomyelitis but sparing spinal and hip prostheses; a case report[J]. *Journal of Medical Case Reports*, 2022, 16(1): 157.
- [29] MAAMARI J, GRACH S L, PASSERINI M, et al. The use of MRI, PET/CT, and nuclear scintigraphy in the imaging of pyogenic native vertebral osteomyelitis: a systematic review and meta-analysis[J]. *The Spine Journal*, 2023, 23(6): 868-876.
- [30] KLOIBER R, LAFFORD H, KOSLOWSKY I L, et al. A practical approach to interpretation of 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography for postoperative spine infection[J]. *Skeletal Radiology*, 2024, 53(4): 741-752.
- [31] STANGENBERG M, MENDE K C, MOHME M, et al. Influence of microbiological diagnosis on the clinical course of spondylodiscitis [J]. *Infection*, 2021, 49(5): 1017-1027.
- [32] KEIL C F, FINGER S B, LAASCH N, et al. Vanishing vacuum disc phenomenon: a diagnostic key in spinal infection[J]. *European Spine Journal*, 2025, 34(10): 4650-4660.
- [33] BERNARD L, DINH A, GHOUT I, et al. Antibiotic treatment for 6 weeks versus 12 weeks in patients with pyogenic vertebral osteomyelitis: an open-label, non-inferiority, randomised, controlled trial[J]. *The Lancet*, 2015, 385(9971): 875-882.
- [34] KÖRPIŇAR S. Could hyperbaric oxygen be a solution in the treatment of spinal infections? [J]. *Medicina*, 2019, 55(5): 164.
- [35] HADJIPAVLOU A G, MADER J T, NECESSARY J T, et al. Hematogenous pyogenic spinal infections and their surgical management [J]. *Spine*, 2000, 25(13): 1668-1679.
- [36] THAVARAJASINGAM S G, VEMULAPALLI K V, VISHNU K S, et al. Conservative versus early surgical treatment in the management of pyogenic spondylodiscitis: a systematic review and meta-analysis[J]. *Scientific Reports*, 2023, 13: 15647.
- [37] BEHMANESH B, GESSLER F, DUETZMANN S, et al. Quality of life following surgical and conservative therapy of pyogenic spinal infection: a study of long-term outcome in 210 patients[J]. *Journal of Neurological Surgery, Part A: Central European Neurosurgery*, 2023, 84(1): 14-20.
- [38] 朱庭标, 张勇, 赵爱彬, 等. VSD技术在脊柱内固定术后早期深部感染治疗中的应用[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2016, 31(5): 530-531.
- [39] 邢皓, 常正奇, 林琳. 封闭负压引流与普通负压引流治疗胸腰椎感染对比研究[J]. *潍坊医学院学报*, 2024, 46(1): 44-47.
- [40] NOVAK I, KOŠAK R, TRAVNIK L, et al. Polyetheretherketone (PEEK) cages for anterior column reconstruction in pyogenic vertebral osteomyelitis[J]. *Journal of Orthopaedic Surgery*, 2019, 27(2): 2309499019842490.
- [41] YAW TEE L Y, HUNTER S, BAKER J F. BMP use in the surgical treatment of pyogenic spondylodiscitis: is it safe? [J]. *Journal of Clinical Neuroscience*, 2022, 95: 94-98.
- [42] LILJENQVIST U, LERNER T, BULLMANN V, et al. Titanium cages in the surgical treatment of severe vertebral osteomyelitis[J]. *European Spine Journal*, 2003, 12(6): 606-612.
- [43] 于达. 钛表面金属酚醛网络接枝抗菌肽涂层的抗菌性能及生物相容性研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2024.
- [44] MUTOH M, FUKUOKA T, SUZUKI O, et al. Three-staged surgical strategy as a combined approach for multilevel cervical pyogenic spondylodiscitis [J]. *Cureus*, 2021, 13(9): e17747.
- [45] 张俊辉, 陈锦旭, 梁卓贤, 等. 全可视椎间孔镜治疗腰椎椎间隙感染: 脊柱稳定性的有限元分析[J]. *中国组织工程研究*, 2026, 30(15): 3801-3809.
- [46] 李世文, 侯宝煜, 丁汉忠, 等. 内镜微创持续灌注引流治疗胸腰椎化脓性感染[J]. *中国矫形外科杂志*, 2025, 33(2): 168-171.
- [47] 李生望, 李俊, 张晓锐, 等. 斜外侧椎间融合术通道技术在腰椎感染中的应用[J]. *中国骨伤*, 2025, 38(5): 473-481.
- [48] YAMADA K, TAKAHATA M, NAGAHAMA K, et al. Posterolateral full-endoscopic debridement and irrigation is effective in treating thoraco-lumbar pyogenic spondylodiscitis, except in cases with large abscess cavities[J]. *European Spine Journal*, 2023, 32(3): 859-866.
- [49] BORNEMANN R, RÖSSLER P, JACOBS C, et al. Spondylitis-spondylodiscitis: an update [J]. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 2019, 157(2): 132-143.
- [50] KINAMON T, DAGHER M, PARK L, et al. Risk factors and outcomes of hematogenous vertebral osteomyelitis in patients with staphylococcus aureus bacteremia[J]. *Clinical Infectious Diseases*, 2023, 77(9): 1226-1233.
- [51] KALS K S, RAMAYANI A, HARIHARAN R, et al. A rare multilevel spinal epidural abscess with streptococcus agalactiae in an adult with uncontrolled diabetes: a case report[J]. *Cureus*, 2023, 15(8): e42802.
- [52] SOBOTTKE R, ZARGHOONI K, KRENGEL M, et al. Treatment of spondylodiscitis in human immunodeficiency virus-infected patients: a comparison of conservative and operative therapy [J]. *Spine*, 2009, 34(13): E452-E458.
- [53] 李鑫, 张强, 赵昌松, 等. HIV感染者与无HIV感染者脊柱手术切口愈合情况的对比观察[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 27(3): 248-253.

(收稿日期: 2025-09-30)