

DOI:10.13350/j.cjpb.260125

• 临床研究 •

# 脊柱内固定术后深部感染危险因素及铜绿假单胞菌耐药表型与炎症反应的关联分析

周健, 杨永波, 朱振军\*

(新乡市中心医院, 河南医药大学第四临床学院骨科, 河南新乡 453000)

**【摘要】** **目的** 探讨脊柱内固定术后深部感染危险因素及铜绿假单胞菌耐药表型与炎症反应的关联。 **方法** 选取2018年1月-2025年1月在本院行脊柱内固定术治疗患者500例,并经患者知情同意,根据是否发生术后深部感染分为阳性组(51例)与阴性组(449例)。收集患者临床资料,以Logistic回归模型分析脊柱内固定术后深部感染影响因素。对阳性组患者行清创手术,取感染处组织样本,检测患者病原菌种类,分析铜绿假单胞菌耐药情况。以酶联免疫吸附法检测不同铜绿假单胞菌耐药患者血清炎症因子水平。 **结果** 相较于阴性组,阳性组患者年龄 $>55$ 岁、手术时间 $\geq 3$ h、低蛋白血症占比明显增加,引流管时间明显延长( $P < 0.05$ )。经Logistic回归分析,年龄、手术时间、低蛋白血症及引流管时间均为脊柱内固定术后深部感染的独立危险因素( $P < 0.05$ )。51例术后深部感染患者共检测出84株病原菌,其中铜绿假单胞菌27株,对多粘菌素B敏感性100.00%,对呋喃妥因、阿米卡星敏感性均超过90%,对左氧氟沙星、环丙沙星、氨基甙耐药性均超过35%。51例术后深部感染患者中铜绿假单胞菌感染患者27例,其中耐药组、中介组共13例,敏感组14例。敏感组患者血清白细胞介素-1 $\beta$ (IL-1 $\beta$ )、肿瘤坏死因子- $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )、基质金属蛋白酶-2(MMP-2)水平均较耐药+中介组降低( $P < 0.05$ )。 **结论** 年龄、手术时间、低蛋白血症及引流管时间均可影响脊柱内固定术后深部感染的发生,而铜绿假单胞菌耐药与炎症因子水平相关,临床应对相关高危人群密切监测,以选择合适治疗方案。

**【关键词】** 脊柱内固定术;深部感染;危险因素;铜绿假单胞菌耐药表型;炎症反应

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1673-5234(2026)01-0122-04

[Journal of Pathogen Biology. 2026 Jan.;21(01):122-125,129.]

## Analysis of risk factors for deep infection after spinal internal fixation and the association between drug resistance phenotype of *Pseudomonas aeruginosa* and inflammatory response

ZHOU Jian, YANG Yongbo, ZHU Zhenjun (Department of Orthopedics, Fourth Clinical College of Henan Medical University, Xinxiang Central Hospital, Xinxiang 453000, Henan, China)\*

**【Abstract】** **Objective** To investigate the risk factors for deep infection following spinal internal fixation surgery and the association between drug resistance phenotypes of *Pseudomonas aeruginosa* and the inflammatory response.

**Methods** A total of 500 patients who underwent spinal internal fixation in our hospital from January 2018 to January 2025 were selected and, after providing informed consent, were divided into a positive group (51 cases, with deep infection) and a negative group (449 cases, without deep infection) based on the occurrence of postoperative deep infection. Clinical data were collected, and a logistic regression model was used to analyze the influencing factors for deep infection after spinal internal fixation. For patients in the positive group, debridement surgery was performed, and tissue samples from the infection site were collected to identify pathogenic bacteria and analyze the drug resistance of *P. aeruginosa*. Serum levels of inflammatory factors in patients infected with different drug-resistant phenotypes of *P. aeruginosa* were measured using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). **Results** Compared with the negative group, the positive group had a significantly higher proportion of patients aged  $>55$  years, operation time  $\geq 3$  h, and hypoalbuminemia, as well as a significantly longer drainage tube indwelling time ( $P < 0.05$ ). Logistic regression analysis identified age, operation time, hypoalbuminemia, and drainage tube time as independent risk factors for deep infection after spinal internal fixation ( $P < 0.05$ ). A total of 84 pathogenic strains were detected in the 51 patients with deep infection, including 27 strains of *P. aeruginosa*. The susceptibility rate to polymyxin B was 100.00%, to nitrofurantoin and amikacin was over 90%, while the resistance rates to levofloxacin, ciprofloxacin, and aztreonam were all over 35%. Among the 27 patients with *P. aeruginosa* infection, 13 were in the resistant+intermediate group and 14 in the susceptible group. Serum levels of interleukin-1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ ), tumor necrosis factor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), and matrix metalloproteinase-2 (MMP-2) in the susceptible

\* **【通信作者】** 朱振军, E-mail: zhoujian666\_2013@126.com

**【作者简介】** 周健(1987-)男,河南新乡人,硕士研究生,主治医师,主要从事骨科工作。E-mail: hnxxzyyz@163.com

group were significantly lower than those in the resistant+intermediate group ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** Age, operation time, hypoalbuminemia, and drainage tube time can all influence the occurrence of deep infection after spinal internal fixation. Furthermore, drug resistance in *P. aeruginosa* is associated with levels of inflammatory factors. Close monitoring of high-risk populations is essential in clinical practice to select appropriate treatment strategies.

**【Keywords】** spinal internal fixation; deep infection; risk factors; drug resistance phenotype of *Pseudomonas aeruginosa*; inflammatory response

随着时代的发展,脊柱问题不仅成为老年人群密切关注问题,也逐渐在青少年中传播,脊柱内固定术治疗为治疗退行性脊柱疾病及脊柱骨折的常用方法,但内固定置入物属于一种“侵入性异物”,会增加患者术后感染发生风险,而术后感染可能会延长患者住院时间,甚至影响患者治疗效果与生活质量<sup>[1-2]</sup>。深部感染为最常见的感染类型,且致病菌复杂多样,了解深部感染发生的相关危险因素,明确致病菌及其药物敏感性情况以选择合适治疗方案可能对避免或减轻该并发症,促进患者术后恢复至关重要。近年来随着抗生素的不规范使用,病原菌耐药性的出现增加了临床治疗难度。铜绿假单胞菌为感染的重要致病菌之一,耐药铜绿假单胞菌由于其致病性、毒性及通过群体感应介导的生物膜形成能力,对临床治疗造成了重大挑战<sup>[3]</sup>。既往研究发现,术后感染可能与炎症因子水平存在密切关系<sup>[4-5]</sup>。但目前关于铜绿假单胞菌耐药性与炎症因子水平关系的研究报道较少,进一步分析脊柱内固定术后深部感染的危险因素,探讨铜绿假单胞菌与炎症因子水平的关系,可能有助于降低脊柱内固定术后深部感染的发生,进而改善患者预后,结果报告如下。

## 材料与方 法

### 1 基线资料

选取 2018 年 1 月-2025 年 1 月在本院行脊柱内固定术治疗患者 500 例,并经患者知情同意,根据是否发生术后深部感染分为阳性组(51 例)与阴性组(449 例)。纳入标准:①均为首次行脊柱内固定术治疗,且对手术具有较高耐受性,包括无肝肾功能或心脏功能障碍,身体状况良好,术后生活质量要求较高等;②符合脊柱内固定术手术指征,如腰椎压缩性骨折、脊髓/神经根压迫、脊柱骨折等;③具有完整的临床资料,包括基线资料、实验室资料及影像学资料等。排除标准:①合并感染性疾病、恶性肿瘤或自身免疫性疾病;②经影像学检测感染灶未穿破深筋膜;③存在心脑肝肾等重要器官功能障碍;④诊断为脊柱结核、化脓性脊柱炎等疾病。

### 2 数据纳入

通过医院电子病历系统收集纳入研究对象基线资料及实验室检查数据:

人口学特征:性别(男/女)、年龄(按 $>55$ 岁、 $\leq 55$ 岁分组)、体重质量指数(BMI,计算公式为体重(kg)/身高<sup>2</sup>(m<sup>2</sup>));

手术相关指标:手术时间(按 $<3$ h、 $\geq 3$ h分组,记录从皮肤切开至缝合完毕的总时长)、术中输血量(按 $\leq 1$ L、 $>1$ L分组,统计术中输注红细胞悬液及血浆的总量)、手术部位(胸椎/腰椎/其他,根据手术记录中明确的主要操作节段判定);

临床病理指标:低蛋白血症(根据术前 72 h 内血清白蛋白检测结果,以血清白蛋白 $<35$ g/L 为诊断标准)、引流管时间(从术后首次放置引流管至拔除引流管的总时长,以天为单位记录)。所有数据由 2 名经过培训的研究人员独立提取并交叉核对,确保数据准确性,若存在争议则通过第三方仲裁解决。

### 3 分组标准

参照临床实践指南,制定深部感染判定标准,满足以下任 1 项或多项者纳入阳性组(存在深部感染):全身症状:术后持续 3 d 及以上体温超过 38℃(腋温,每日测量 4 次,取最高值),且排除肺部感染、泌尿系统感染等其他部位感染;影像学证据:术后复查 CT 或 MRI 显示感染灶位于深筋膜下方,伴或不伴内固定物周围积液、骨质破坏或软组织肿胀;局部体征:手术部位出现持续性疼痛(数字疼痛评分量表(NRS) $\geq 4$ 分)、红肿、皮温升高,或有脓性分泌物渗出;实验室指标:术后血常规提示白细胞计数 $>10 \times 10^9/L$ 或中性粒细胞百分比 $>75\%$ ,且 C 反应蛋白(CRP) $>10$ mg/L、降钙素原(PCT) $>0.5$ ng/mL(检测时间为术后 3 d 内)。未满足上述任何一项者纳入阴性组(无深部感染)。

### 4 观察指标

**4.1 危险因素分析指标** 对比阳性组与阴性组患者的基线资料(性别、年龄、BMI 等),通过单因素分析筛选可能影响脊柱内固定术后深部感染的变量;将单因素分析中  $P < 0.05$  的指标纳入多因素 Logistic 回归模型,分析独立危险因素。

**4.2 病原菌检测及耐药性分析** 对阳性组患者行清创手术时,无菌采集感染灶深部组织样本(每份样本重量 $\geq 1$ g),立即置于无菌试管中,2 h 内送至微生物实验室。采用 HM-W80 微生物检测仪(山东恒美电子科技有限公司)进行病原菌培养及鉴定:样本接种于血

琼脂平板及麦康凯琼脂平板, 35 ℃ 恒温培养 24~48 h, 根据菌落形态、革兰染色结果及生化反应(API 鉴定系统)明确病原菌种类。

针对铜绿假单胞菌, 采用铜绿假单胞菌药敏试剂盒(广东环凯生物科技有限公司, 货号: FZ001BF2)进行药敏试验, 检测药物包括左氧氟沙星、环丙沙星、氨基糖苷类等 14 种临床常用抗菌药物。参照 2024 年《CHINET 中国细菌耐药性监测报告》标准判读结果: 抑菌圈直径 ≤ 解释标准下限为耐药, 介于下限与上限之间为中介, ≥ 上限为敏感。

**4.3 炎症因子检测** 采集铜绿假单胞菌感染患者术前及术后 72 h 空腹静脉血 5 mL, 3 000 r/min(离心半径 8 cm)离心 10 min, 分离血清后置 -80 ℃ 冰箱保存待测。采用酶联免疫吸附法(ELISA)检测血清白细胞介素-1β(IL-1β)、肿瘤坏死因子-α(TNF-α)、基质金属蛋白酶-2(MMP-2)水平, 试剂盒分别购自上海酶联生物科技有限公司(货号: ml002031)、北京索莱宝科技有限公司(货号: SEKM-0047)、南京建成生物工程研究所(货号: A020-1-1), 严格按照试剂盒说明书操作。检测仪器为 MultiskanFC 酶标仪(美国 ThermoFisherScientific 公司), 以 450 nm 波长测定吸光度(OD 值), 根据标准曲线计算各因子浓度。

**5 统计学方法**

采用 SPSS25.0 进行统计学分析。计数资料以 [例(%)] 表示, 采用  $\chi^2$  检验。符合正态分布的计量资料用 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 两组间对比采用独立样本 *t* 检验。影响因素以 Logistic 回归模型分析。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

**结 果**

**1 脊柱内固定术后深部感染的单因素分析**

阴性组与阳性组患者性别、BMI、术中输血量、手术部位对比无明显差异( $P > 0.05$ ); 相较于阴性组, 阳性组患者年龄  $> 55$  岁、手术时间  $\geq 3$  h、低蛋白血症占比明显增加, 引流管时间明显延长( $P < 0.05$ )。见表 1。

**2 脊柱内固定术后深部感染的多因素分析**

以脊柱内固定手术后是否发生深部感染为自变量(是=1, 否=0), 选取单因素分析中存在差异的指标进行赋值, 进一步经 Logistic 回归分析, 年龄、手术时间、低蛋白血症及引流管时间均为脊柱内固定术后深部感染的独立危险因素( $P < 0.05$ )。见表 2。

**3 术后深部感染患者病原菌检出情况**

51 例术后深部感染患者共检测出 84 株病原菌, 其中革兰阳性菌( $G^+$ )23 株(占 27.38%), 革兰阴性菌( $G^-$ )58 株(占 69.05%), 真菌 3 株(占 3.57%)。

$G^+$  菌中表皮葡萄球菌 12 株(14.29%)、粪肠球菌 2 株(2.38%)、金黄色葡萄球菌 6 株(7.14%)、屎肠球菌 2 株(2.38%)、其他菌 1 株(1.19%);  $G^-$  菌中鲍曼不动杆菌 6 株(7.14%)、大肠埃希菌 9 株(10.71%)、肺炎克雷白杆菌 14 株(16.67%)、铜绿假单胞菌 27 株(32.14%)、聚团杆菌 1 株(1.19%)、其他菌 1 株(1.19%)。

**表 1 脊柱内固定术后深部感染的单因素分析**  
**Table 1 Univariate analysis of deep infection after spinal internal fixation**

分组		阳性组 (n=51)	阴性组 (n=449)	$\chi^2/t$	<i>P</i>
性别	女	20(39.22%)	213(47.44)	1.244	0.265
	男	31(60.78)	236(52.56)		
年龄(岁)	≤55	11(21.57%)	248(55.23%)	20.789	<0.01
	>55	40(78.43%)	201(44.77%)		
手术时间(h)	<3	4(7.84%)	310(69.04%)	73.424	<0.01
	≥3	47(92.16%)	139(30.96%)		
术中输血量(L)	≤1	38(74.51%)	287(63.92%)	2.258	0.133
	>1	13(25.49%)	162(36.08%)		
手术部位	胸椎	10(19.61%)	105(23.39%)	1.715	0.424
	腰椎	18(35.29%)	120(26.73%)		
	其他	23(45.10%)	224(49.89%)		
低蛋白血症	是	19(37.25%)	42(9.35%)	33.283	<0.01
	否	32(62.75%)	407(90.65%)		
BMI(kg/m <sup>2</sup> )		24.65±3.40	24.18±3.35	0.948	0.344
引流管时间(d)		2.49±0.70	2.05±0.56	5.097	<0.01

**表 2 脊柱内固定术后深部感染的多因素分析**  
**Table 2 Multivariate analysis of deep infection after spinal internal fixation**

指标	赋值	<i>B</i>	<i>SE</i>	<i>Wald</i>	<i>P</i>	<i>OR</i>	95% <i>CI</i>
年龄	≤55岁=0, >55岁=1	2.085	0.458	20.715	<0.01	8.049	3.279~19.758
手术时间	<3 h=0, ≥3 h=1	3.295	0.565	34.076	<0.01	26.984	8.925~81.587
低蛋白血症	否=0, 是=1	2.324	0.482	23.262	<0.01	10.214	3.973~26.259
引流管时间	-	1.449	0.345	17.630	<0.01	4.259	2.166~8.377
常量	-	-9.481	1.175	65.125	<0.01	-	-

**4 铜绿假单胞菌耐药性情况分析**

27 株铜绿假单胞菌中对多粘菌素 B 敏感性 100.00%, 对呋喃妥因、阿米卡星敏感性均超过 90%, 对左氧氟沙星、环丙沙星、氨基糖苷类耐药性均超过 35%。见表 3。

**5 不同铜绿假单胞菌耐药表型患者炎症因子水平对比**

51 例术后深部感染患者中铜绿假单胞菌感染患者 27 例, 其中耐药组、中介组共 13 例, 敏感组 14 例。敏感组患者血清 IL-1β、TNF-α、MMP-2 水平分别为 (35.42±5.17) ng/mL、(59.14±6.79) ng/mL、(2.65±0.71) pg/mL, 耐药+中介组分别为 (61.30±5.89) ng/mL、(83.22±8.27) ng/mL、(9.41±2.39) pg/mL; 敏感组均较耐药+中介组降低 ( $t = 12.157$ 、 $8.296$ 、 $10.126$ , 均  $P < 0.05$ )。

表3 铜绿假单胞菌耐药性情况分析  
Table 3 Analysis of drug resistance of *P. aeruginosa*

药物	耐药	中介	敏感
左氧氟沙星	10(37.04%)	2(7.41%)	15(55.56%)
妥布霉素	1(3.70%)	3(11.11%)	23(85.19%)
亚胺培南	5(18.52%)	2(7.41%)	20(74.07%)
头孢他啶	8(29.63%)	5(18.52%)	14(51.85%)
头孢吡肟	6(22.22%)	5(18.52%)	16(59.26%)
庆大霉素	3(11.11%)	2(7.41%)	22(81.48%)
哌拉西林	8(29.63%)	2(7.41%)	17(62.96%)
哌拉西林-舒巴坦	7(25.93%)	1(3.70%)	19(70.37%)
美罗培南	3(11.11%)	2(7.41%)	22(81.48%)
呋喃妥因	1(3.70%)	1(3.70%)	25(92.59%)
环丙沙星	10(37.04%)	1(3.70%)	16(59.26%)
氨基曲南	10(37.04%)	3(11.11%)	14(51.85%)
阿米卡星	1(3.70%)	0(0.00%)	26(96.30%)

## 讨论

手术部位深部感染是脊柱手术后最严重的并发症之一,有研究发现,脊柱手术后深部感染发生率在0.7%~12%之间<sup>[7]</sup>,本研究中分析500例行脊柱内固定术治疗的患者,结果发现,51例发生术后深部感染,发生率10.20%,与既往研究基本相似。术后深部感染的发生可能造成固定失败、脊髓炎、住院时间延长、死亡率升高等严重不良后果的发生<sup>[8]</sup>。因此,有必要了解脊柱内固定术后深部感染发生的危险因素,并尽早做好早期预防。

本研究中经 Logistic 回归模型分析,年龄、手术时间、低蛋白血症及引流管时间均为脊柱内固定术后深部感染的独立危险因素。分析原因,高龄人群常合并多种基础疾病,心脏射血功能的降低及组织血供的减少可能降低机体局部抵抗力及自愈能力,加之随着年龄的增加,机体免疫系统出现退化,抵御病原体入侵的能力降低,使得感染风险明显升高<sup>[9]</sup>。较长手术时间与术后深部感染风险增加可能与手术时间越长,组织牵引时间越长,使得局部组织缺血及坏死程度加剧有关<sup>[10]</sup>。本研究结果与贾辰<sup>[11]</sup>、Schmitt 等<sup>[12]</sup>研究结果一致,进一步证实高龄、手术时间在术后感染中扮演了重要角色。低蛋白血症是包括营养不良、肾功能衰竭及多种炎症性疾病等多种病理状态的实验室指标,相关研究发现,低蛋白血症为术后住院时间延长、死亡率升高等多种事件的预测因素<sup>[13-14]</sup>,其可能是因为白蛋白水平的降低会影响其作为抗氧化剂、细胞外运输分子及为体内合成反应提供氨基酸的功能,还可造成毛细血管滤过压下降,促进组织液外渗引起组织水肿,延迟伤口愈合,进而增加术后感染风险<sup>[15]</sup>。引流管作为一种侵入性装置使手术伤口与外部环境相通,较长时间的放置时间可能使病原菌更易侵入伤口,进而增加感染风险<sup>[16]</sup>。由此认为,应密切关注脊柱固定术后深部感染发生的危险因素,及时干预,以期降低其发生风

险,改善患者预后。

本研究结果发现,铜绿假单胞菌为术后深部感染患者中常见的 G 菌,其对左氧氟沙星、妥布霉素等多种抗生素存在不同程度的耐药或敏感性,其可能与医生用药习惯及抗生素使用制度有关。动物研究中,铜绿假单胞菌感染会影响伤口愈合并引发炎症反应,造成免疫调节障碍<sup>[17-18]</sup>。本研究中分析不同铜绿假单胞菌耐药患者炎症因子水平变化,结果表明,耐药性患者血清 IL-1 $\beta$ 、TNF- $\alpha$ 、MMP-2 水平较敏感性患者高。其可能是因为铜绿假单胞菌作为一种常见的致病菌,可形成细菌聚集体,增加其对伤口的附着,并可通过分泌弹性蛋白酶、内毒素脂多糖、外毒素 A 等多种物质,破坏宿主组织与免疫细胞,促进局部组织坏死,加剧炎症反应,进而促进 IL-1 $\beta$ 、TNF- $\alpha$ 、MMP-2 等炎症因子水平的升高<sup>[19-20]</sup>。

综上所述,年龄、手术时间、低蛋白血症及引流管时间均可影响脊柱内固定术后深部感染的发生,而铜绿假单胞菌耐药与炎症因子水平相关,临床应对相关高危人群密切监测,以选择合适治疗方案。但本研究是一项观察性研究,但术后深部感染患者例数的不足限制了有效多变量因子的识别,还需更大规模研究进行验证;另外,单中心来源使得结果可能存在一定误差,降低了结果的普适性,后期有必要进行多中心研究分析。

## 【参考文献】

- [1] Ren S, Liu H, Chang Z. Effectiveness of negative pressure wound therapy in treating deep surgical site infections after spine surgery: a meta-analysis of single-arm studies[J]. J Orthop Surg Res, 2025, 20(1): 44.
- [2] Weaver MJ, Khan U, Puri S, et al. Risk factors associated with surgical site infection after internal fixation of ballistic diaphyseal fractures[J]. Injury, 2025, 56(6): 112302.
- [3] Ramesh R, Rekha ND, Gopal S. *Pseudomonas aeruginosa* biofilm: Treatment strategies to combat infection [J]. Arch Microbiol, 2025, 207(6): 141.
- [4] Yu Q, Cen C, Gao M, et al. Combination of early interleukin-6 and -18 levels predicts postoperative nosocomial infection[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2022, 13(1): 1019667.
- [5] 刘耕, 王聪, 刘雪娇. 老年髋部骨折术后肺部感染的 Logistic 回归分析及血清免疫炎症因子检测价值[J]. 湖南师范大学学报: 医学版, 2023, 20(3): 130-134.
- [6] 胡付品, 郭燕, 朱德妹, 等. 2017 年 CHINET 中国细菌耐药性监测[J]. 中国感染与化疗杂志, 2018, 18(3): 241-251
- [7] Dong X, Zhou Y. Cross-sectional analysis of risk factors for surgical site infection secondary to spinal internal fixation via the posterior approach [J]. J Int Med Res, 2022, 50(5): 3000605221099254.
- [8] Zhou J, Wang R, Huo X, et al. Incidence of surgical site infection after spine surgery: A systematic review and meta-analysis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2020, 45(3): 208-216.
- [9] 张细顺, 王宁, 吴素琴, 等. 基于 SMOTE 算法的脊柱内固定手术后脊柱感染再入院预测模型构建[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2024, 39(11): 1130-1135.

(下转 129 页)

- bacterial interactions in otorhinolaryngological infections[J]. Chin J Pathog Biol, 2021, 16(11):1356-1362.
- [5] Chen X, Li S, Wang J, et al. Etiological spectrum and antimicrobial resistance of fungal-bacterial coinfections in non-allergic fungal rhinosinusitis[J]. Mycoses, 2022, 65(10):703-711.
- [6] Zou L, Zhu Y, Zheng Y, et al. Clinical and etiological analysis of 285 cases of fungal rhinosinusitis[J]. Chin J Otorhinolar-Head Neck Surgery, 2024, 59(9):812-817.
- [7] Carolus H, Van Dyck K, Van Dijk P. *Candida albicans* and *Staphylococcus* species; A threatening twosome [J]. Front Microbiol, 2019, 10(12):2162-2166.
- [8] Baxter KJ, Sargison FA, Fitzgerald JR, et al. Time-lapse mesoscopy of *Candida albicans* and *Staphylococcus aureus* dual-species biofilms reveals a structural role for the hyphae of *C. albicans* in biofilm formation[J]. Microbiology, 2024, 170(1):142-146.
- [9] Van Dyck K, Viela F, Mathelie-Guinlet M, et al. Adhesion of *Staphylococcus aureus* to *Candida albicans* during co-infection promotes bacterial dissemination through the host immune response[J]. Front Cell Infect Microbiol, 2021, 10(6):239-248.
- [10] Holtfreter S, Zueger N, Gurtler L, et al. *Propionibacterium acnes* in chronic otitis media; A potential link to fungal biofilm stability[J]. Front Microbiol, 2022, 13(9):972-978.
- [11] Al-Momani H, Masadeh MI, Al Haj Mahmoud S. Impact of *Propionibacterium acnes* and *Aspergillus fumigatus* co-culture on biofilm architecture in otitis media[J]. Antibiotics, 2023, 12(2):354.
- [12] Sass G, Shrestha P, Stevens DA. *Pseudomonas aeruginosa* virulence factors support voriconazole effects on *Aspergillus fumigatus*[J]. Pathogens, 2021, 10(5):519.
- [13] Eichelberger KR, Cassat JE. Metabolic adaptations during *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans* co-infection[J]. Front Immunol, 2021, 12(7):797-805.
- [14] Bras G, Satala D, Juszcza M, et al. Secreted aspartic proteinases: Key factors in *Candida* infections and host-pathogen interactions[J]. Internat J Mol Sci, 2024, 25(9):775-782.
- [15] Liu, Z, Sun, X, Liu, X, et al. Mixed biofilms of *Aspergillus fumigatus* and *Pseudomonas aeruginosa* exhibit enhanced resistance to antifungal and antibacterial agents via extracellular matrix remodeling[J]. Antimicrob Agent Chemother, 2022, 66(12):1313-1322.
- [16] Chatterjee P, Sass G, Stevens DA. Review of potential *Pseudomonas* weaponry, relevant to the *Pseudomonas-Aspergillus* interplay, for the mycology community [J]. J Fungi, 2020, 6(2):81.
- [17] Sass G, Stevens DA. Model of pulmonary co-infection of *Aspergillus* and *Pseudomonas* in immunocompetent mice[J]. Microb Res 2023, 14(4):1843-1861.
- [18] Sheehan G, Tully L, Kavanagh K. *Candida albicans* increases the pathogenicity of *Staphylococcus aureus* during polymicrobial infection of *Galleria mellonella* larvae[J]. Microbiology, 2020, 166(3):259-268.
- [19] Jakubovics NS, Goodman SD, Mashburn-Warren L, et al. The dental plaque biofilm matrix[J]. Periodontology 2000, 2021, 86(1):146-165.
- [20] Yoon J, Park J. Non-invasive evaluation of cytokine expression using the cerumen of dogs with otitis externa[J]. Front Vet Sci, 2024, 11(10):1355-1369.
- [21] Michaelis C, Grohmann E. Horizontal gene transfer of antibiotic resistance genes in biofilms[J]. Antibiotics (Basel), 2023, 12(2):328.
- [22] Kumar S, Gupta R, Sharma A. Role of fungal-bacterial coinfection in chronic otitis externa: A tertiary care center experience[J]. J Laryngol Otol, 2022, 136(10):967-972.
- [23] Uzunoglu E, Kalkanc A, Kilic E, et al. Bacterial and fungal communities in chronic rhinosinusitis with nasal polyps [J]. PLOS ONE, 2024, 19(5):304-306.
- [24] Sanku K, Youssef D. Coexistence of mucormycosis and granulomatosis with polyangiitis: A diagnostic and therapeutic challenge[J]. Cureus, 2022, 14(5):251-254.
- [25] Carvalho-Pereira J, Fernandes F, Araujo R, et al. Multiplex PCR based strategy for detection of fungal pathogen DNA in patients with suspected invasive fungal infections[J]. J Fungi, 2020, 6(4):308.
- [26] Daikos GL, da Cunha CA, Rossolini GM, et al. Review of ceftazidime-avibactam for the treatment of infections caused by *Pseudomonas aeruginosa* [J]. Antibiotics, 2021, 10(9):1126-1130.

【收稿日期】 2025-07-17 【修回日期】 2025-10-10

(上接 125 页)

- [10] 高景成, 赵丽娜, 李大成, 等. 胫骨干骨折闭合复位交锁髓内钉内固定术后感染的危险因素分析[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2024, 39(10):1083-1085.
- [11] 贾辰, 吴恩放, 曹丹, 等. 老年骨折患者术后手术部位感染病原学及危险因素[J]. 中华医院感染学杂志, 2023, 33(21):3275-3278.
- [12] Schmitt MW, Chenault PK, Samuel LT, et al. The effect of operative time on surgical-site infection following total shoulder arthroplasty[J]. J Shoulder Elbow Surg, 2023, 32(11):2371-2375.
- [13] Liu B, Pan J, Zong H, et al. The risk factors and predictive nomogram of human albumin infusion during the perioperative period of posterior lumbar interbody fusion: a study based on 2015-2020 data from a local hospital[J]. J Orthop Surg Res, 2021, 16(1):654.
- [14] Liu SH, Cerri-Droz P, Loyst RA, et al. Hypoalbuminemia predicts early postoperative complications following noninfectious revision total shoulder arthroplasty [J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2024, 34(6):3129-3134.
- [15] Xie L, Liu G, Wang X, et al. Development of a nomogram to predict surgical site infection after open reduction and internal fixation for closed pilon fracture: A prospective single-center study[J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1):110.
- [16] 刘斌, 甘维, 王华富, 等. 腰椎后路融合内固定术后感染的多因素 logistic 回归分析[J]. 临床骨科杂志, 2020, 23(6):788-791
- [17] Huang M, Wang Z, Yao L, et al. Ferric chloride induces ferroptosis in *Pseudomonas aeruginosa* and heals wound infection in a mouse model[J]. Int J Antimicrob Agents, 2023, 61(5):106794.
- [18] Keith JD, Murphree-Terry M, Bollar G, et al. Ivacaftor ameliorates mucus burden, bacterial load, and inflammation in acute but not chronic *Pseudomonas aeruginosa* infection in hG551D rats[J]. Respir Res, 2024, 25(1):397.
- [19] Liao C, Huang X, Wang Q, et al. Virulence factors of *Pseudomonas aeruginosa* and antivirulence strategies to combat its drug resistance[J]. Front Cell Infect Microbiol, 2022, 12(1):926758.
- [20] Ciszek-Lenda M, Nowak B, Majka G, et al. *Saccharomyces cerevisiae*  $\beta$ -glucan improves the response of trained macrophages to severe *Pseudomonas aeruginosa* infections[J]. Inflamm Res, 2024, 73(8):1283-1297.

【收稿日期】 2025-08-01 【修回日期】 2025-10-29