

DOI:10.13350/j.cjpb.260209

• 论著 •

儿童骨关节感染的病原菌特点及血清学指标水平的相关性分析

毛俊超^{1*}, 成晓华², 张德新¹, 王文哲¹, 万广亮¹

(1. 唐山市第二医院, 河北唐山 063000; 2. 华北理工大学附属医院)

【摘要】 目的 探讨儿童骨关节感染的病原菌分布特点、金黄色葡萄球菌的耐药性及耐药基因携带情况, 并分析血清学指标水平与病原菌感染类型及负荷量的相关性, 为临床诊断、治疗及预后评估提供参考依据。方法 选取2020年7月~2025年6月本院收治的95例儿童骨关节感染患儿作为研究对象, 采集其关节液或血液标本进行病原菌分离鉴定。采用纸片扩散法(K-B法)检测金黄色葡萄球菌对10种抗菌药物的耐药性, 通过PCR技术检测耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)的耐药基因携带情况。同时检测患儿血清PCT、CRP、ESR水平, 比较不同病原菌感染组(革兰阳性菌 vs 革兰阴性菌、MRSA vs 甲氧西林敏感金黄色葡萄球菌 MSSA)血清学指标的差异, 并采用Pearson相关分析探讨血清学指标与病原菌负荷量的相关性。结果 95例患儿共检出病原菌95株, 其中革兰阳性菌75株(占78.95%), 以金黄色葡萄球菌为主(53株, 占55.79%); 革兰阴性菌18株(占18.95%), 主要为铜绿假单胞菌(8株, 占8.42%); 真菌2株(占2.11%), 均为白色假丝酵母菌。53株金黄色葡萄球菌中MRSA检出率为28.30%(15/53), MRSA对苯唑西林、头孢唑林、克林霉素、红霉素、庆大霉素、复方新诺明、左氧氟沙星的耐药率显著高于MSSA($P < 0.05$)。15株MRSA均携带mecA基因, ermC、ermA、tetM、aac(6)-aph(2⁺)、qnrA基因携带率分别为60%、20%、26.67%、46.67%、13.33%。革兰阳性菌感染组血清PCT、CRP、ESR水平均显著高于革兰阴性菌感染组($P < 0.05$); MRSA感染组血清PCT、CRP水平显著高于MSSA感染组($P < 0.05$)。Pearson相关分析显示, 血清PCT、CRP、ESR水平与病原菌负荷量均呈正相关($P < 0.05$), 其中CRP相关性最高($r = 0.881$)。结论 儿童骨关节感染病原菌以革兰阳性菌为主, 金黄色葡萄球菌为主要致病菌, 且MRSA耐药性较强并携带多种耐药基因。血清PCT、CRP、ESR水平可作为区分不同病原菌感染类型及评估病原菌负荷量的重要指标, 对临床精准诊疗具有重要指导意义。

【关键词】 儿童; 骨关节感染; 病原菌; 耐药性; 血清学指标; 相关性

【文献标识码】 A

【文章编号】 1673-5234(2026)02-0187-05

[Journal of Pathogen Biology. 2026 Feb.; 21(02):187-191.]

Analysis of pathogen characteristics and correlation with serological index levels in children with osteoarticular infections

MAO Junchao¹, CHENG Xiaohua², ZHANG Dexin¹, WANG Wenzhe¹, WAN Guangliang¹ (1. The Second Hospital of Tangshan, Tangshan 063000, Hebei, China; 2. North China University of Science and Technology Affiliated Hospital) *

【Abstract】 **Objective** To investigate the distribution characteristics of pathogens causing osteoarticular infections in children, the drug resistance and resistance gene carriage of *Staphylococcus aureus*, and to analyze the correlation between serological index levels and the type and load of pathogenic infections, so as to provide a reference for clinical diagnosis, treatment, and prognosis evaluation. **Methods** A total of 95 children with osteoarticular infections admitted to our hospital from July 2020 to June 2025 were selected as the research subjects. Synovial fluid or blood samples were collected for pathogen isolation and identification. The Kirby-Bauer (K-B) method was used to detect the resistance of *S. aureus* to 10 antimicrobial agents, and PCR was used to detect the carriage of resistance genes in methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA). Meanwhile, the serum levels of PCT, CRP, and ESR in children were measured. Differences in serological indices were compared between groups with different pathogenic infections [Gram-positive bacteria vs. Gram-negative bacteria, MRSA vs. methicillin-sensitive *S. aureus* (MSSA)]. Pearson correlation analysis was used to explore the correlation between serological indices and pathogen load. **Results** A total of 95 pathogenic strains were detected from 95 children. Among them, Gram-positive bacteria was 75 strains (accounted for 78.95%), mainly *S. aureus* (53 strains, 55.79%); Gram-negative bacteria was 18 strains (accounted for 18.95%), mainly *Pseudomonas aeruginosa* (8 strains, 8.42%); fungi was 2 strains (accounted for 2.11%), all being *Candida albicans*. Among the 53 *S. aureus* strains, the

* **【通信作者(简介)】** 毛俊超(1983-), 男, 河北唐山人, 硕士, 主治医师, 研究方向: 关节外科与运动医学。E-mail: 15931911380@163.com

detection rate of MRSA was 28.30% (15/53). The resistance rates of MRSA to oxacillin, cefazolin, clindamycin, erythromycin, gentamicin, trimethoprim-sulfamethoxazole, and levofloxacin were significantly higher than those of MSSA ($P < 0.05$). All 15 MRSA strains carried the *mecA* gene, and the carriage rates of *ermC*, *ermA*, *tetM*, *aac(6′)-aph(2′)*, and *qnrA* genes were 60%, 20%, 26.67%, 46.67%, and 13.33%, respectively. The serum levels of PCT, CRP, and ESR in the Gram-positive bacterial infection group were significantly higher than those in the Gram-negative bacterial infection group ($P < 0.05$); the serum levels of PCT and CRP in the MRSA infection group were significantly higher than those in the MSSA infection group ($P < 0.05$). Pearson correlation analysis showed that serum PCT, CRP, and ESR levels were positively correlated with pathogen load ($P < 0.05$), with CRP showing the highest correlation ($r = 0.881$). **Conclusion** Gram-positive bacteria were the main pathogens causing osteoarticular infections in children, with *S. aureus* being the primary pathogenic bacterium. MRSA exhibits strong drug resistance and carries multiple resistance genes. Serum PCT, CRP, and ESR levels can serve as important indicators for distinguishing different types of pathogenic infections and evaluating pathogen load, which is of great guiding significance for clinical precise diagnosis and treatment.

【Keywords】 children; osteoarticular infection; pathogens; drug resistance; serological indices; correlation

儿童骨关节感染是儿科较常见的感染性疾病,包括骨髓炎和化脓性关节炎等,常发于5岁以下小儿,其中婴幼儿最为常见^[1]。由于小儿骨骼和关节处于生长发育时期,局部感染若未及时确诊和有效控制,可导致骨骼畸形、关节功能受损等严重并发症,甚至会影响患儿终生,给小儿家庭和社会造成沉重的经济压力^[2]。近年来随着抗生素的不合理使用,儿童骨关节感染的病原菌谱有所改变,特别是耐药菌株尤其多重耐药菌株的检出率呈逐年上升态势,对临床治疗带来极大挑战^[3]。金黄色葡萄球菌仍是目前儿童骨关节感染的主要致病菌之一,其耐药性相对较为严重,其中耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)对 β -内酰胺类抗菌药物耐药,且常伴有对其他类别抗菌药物的交叉耐药性,从而给临床治疗带来不少难度^[4]。此外,由革兰阴性菌和真菌等引起的儿童骨关节感染也有逐渐增加趋势,病原菌的多样化及其耐药性的复杂性给精准诊治带来更大的挑战。临床对儿童骨关节感染的诊断主要根据临床症状、影像学检查以及病原学检测结果,但是病原学检测结果往往需要数天时间,同时治疗中会存在一定假阴性率,所以并不能满足早期诊断及治疗的需求。降钙素原(PCT)、C反应蛋白(CRP)、红细胞沉降率(ESR)等血清学指标便于检测,结果可及时明确,故目前广泛用于感染性疾病的诊断和病情监测评估及疗效检测。但其与儿童骨关节感染病原菌感染种类及病原菌感染负荷量的相关性研究较少且不全面,其对不同病原菌感染鉴别及病情严重程度评价的作用有待进一步明确。本研究通过分析儿童骨关节感染患儿的病原菌分布特征、金黄色葡萄球菌耐药性及耐药基因携带情况,探索血清学指标水平与病原菌感染类型及负荷量的相关性,以期儿童骨关节感染的早期诊断、合理选择抗菌药物及其预后评估提供依据,促进临床诊治水平提高及患儿预后改善。

对象与方法

1 研究对象

选取2020年7月~2025年6月在唐山市第二医院接受治疗的95例儿童骨关节感染患儿作为研究对象。本研究已获得医院伦理委员会批准,所有患儿家长均知情同意并签署知情同意书。纳入标准:(1)符合儿童骨关节感染的诊断标准,经临床症状、体征、影像学检查及病原学检查证实;(2)年龄在1~14岁之间;(3)入院前未接受过抗菌药物治疗;(4)临床资料完整。排除标准:(1)合并其他部位严重感染性疾病;(2)存在先天性免疫缺陷疾病、恶性肿瘤、血液系统疾病等;(3)存在严重肝肾功能不全、心功能衰竭等基础疾病;(4)近期接受过免疫抑制剂治疗;(5)临床资料不完整。

2 标本采集与病原菌分离鉴定

在患儿入院后,严格按照无菌操作规范采集标本。对于关节感染患儿,在局部麻醉下进行关节腔穿刺,采集关节液2~5 mL;对于伴有败血症表现的患儿,同时采集静脉血5~10 mL。采集的标本立即置于无菌试管中,标记患儿基本信息(姓名、性别、年龄、住院号、采集时间等),及时送实验室进行检测。将采集的关节液和血液标本分别接种于血琼脂培养基和麦康凯琼脂培养基上,置于35~37℃、5%CO₂培养箱中培养18~24 h。若培养24 h后无细菌生长,则继续培养至48 h。观察培养基上菌落的形态(大小、形状、颜色、边缘、透明度等)、溶血情况等,对可疑菌落进行进一步分离纯化。采用VITEK 2 Compact全自动微生物鉴定系统(法国生物梅里埃公司)对纯化后的菌落进行鉴定。按照仪器操作说明书进行操作,取纯培养的菌落制成一定浓度的菌悬液,接种到鉴定卡中,将鉴定卡放入仪器中进行检测,根据仪器给出的鉴定结果确定病原菌的种类。

3 药敏试验

采用纸片扩散法(K-B法)进行药敏试验,按照美国临床和实验室标准协会(CLSI)制定的标准操作程

序和判断标准进行。取纯培养的病原菌菌落,用无菌生理盐水制成0.5麦氏浓度的菌悬液,用无菌棉拭子蘸取菌悬液,在MH琼脂培养基表面均匀涂抹3次,每次涂抹后将平板旋转60°,最后沿平板边缘涂抹一周,以保证菌液均匀分布。待菌液吸收3~5 min后,用无菌镊子将药敏纸片贴于培养基表面,每个平板最多贴6张药敏纸片,纸片之间的距离不少于24 mm,纸片与平板边缘的距离不少于15 mm。将平板置于35~37 °C培养箱中培养16~18 h。培养结束后,用游标卡尺测量药敏纸片周围抑菌环的直径,根据CLSI标准判断病原菌对该抗菌药物的敏感性。以金黄色葡萄球菌ATCC25923作为质控菌株,每次试验均进行质控,确保试验结果的准确性。对于金黄色葡萄球菌,根据对苯唑西林的敏感性分为耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)和甲氧西林敏感金黄色葡萄球菌(MSSA)。对苯唑西林耐药的金黄色葡萄球菌判定为MRSA,敏感的判定为MSSA。

4 耐药基因检测

4.1 细菌DNA提取 取纯培养的MRSA菌落,采用细菌基因组DNA提取试剂盒(购自天根生化科技(北京)有限公司)提取细菌DNA。按照试剂盒操作说明书进行操作,将提取的DNA置于-20 °C冰箱中保存备用。

4.2 PCR引物设计与合成 根据GenBank中公布的耐药基因(mecA、ermC、ermA、tetM、aac(6′)-aph(2′)、qnrA等)的基因序列^[5],使用Primer Premier 5.0软件设计特异性引物,引物由上海生工生物工程股份有限公司合成。

4.3 PCR扩增反应体系及反应条件 PCR反应体系为25 μL,包括2×Taq PCR Master Mix 12.5 μL,上游引物(10 μmol/L)1 μL,下游引物(10 μmol/L)1 μL,模板DNA 2 μL,无菌去离子水 8.5 μL。PCR扩增条件:94 °C预变性5 min;94 °C变性30 s,[mecA基因55 °C,ermC基因58 °C,ermA基因58 °C,tetM基因55 °C,aac(6′)-aph(2′)基因58 °C,qnrA基因56 °C]退火30 s,72 °C延伸30 s,共35个循环;72 °C终延伸10 min。

4.4 扩增产物检测 取5 μL PCR扩增产物,与1 μL Loading Buffer混合后,加入1.5%琼脂糖凝胶(含EB)中进行电泳,电压为100 V,电泳时间为30 min。电泳结束后,在紫外凝胶成像系统下观察结果,若出现与目的基因片段大小一致的条带,则判定为该耐药基因阳性,否则为阴性。

5 血清学指标检测

在患儿入院后次日清晨,采集空腹静脉血5 mL,置于无抗凝剂的试管中,室温静置30 min,以3 000 r/

min离心10 min,分离血清,将血清分装于EP管中,置于-80 °C冰箱中保存备用,避免反复冻融。采用电化学发光免疫分析法进行PCT检测,使用Cobas e601电化学发光免疫分析仪及配套PCT检测试剂盒(罗氏诊断产品(上海)有限公司),按照仪器和试剂盒操作说明书进行操作。采用免疫比浊法进行CRP检测,使用Hitachi 7600全自动生化分析仪及配套CRP检测试剂盒(日本日立公司),按照仪器和试剂盒操作说明书进行操作。采用魏氏法进行ESR检测,使用血沉管、血沉架等,按照《全国临床检验操作规程》(第4版)中的操作方法进行操作。将抗凝血加入血沉管中至刻度“0”处,垂直置于血沉架上,室温下静置1 h后,读取红细胞下沉后所暴露的血浆段高度,即为ESR值。

6 病原菌负荷量测定

采用实时荧光定量PCR法测定病原菌负荷量。根据分离鉴定出的主要病原菌,设计特异性引物和探针,提取病原菌DNA,以病原菌DNA为模板进行实时荧光定量PCR扩增。反应体系和扩增条件按照试剂盒说明书进行,通过标准曲线计算病原菌的拷贝数,以此表示病原菌负荷量。

7 统计学分析

采用SPSS 26.0统计学软件对所有数据进行统计分析。计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料以例数(百分比)表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用Pearson相关分析方法分析血清学指标(PCT、CRP、ESR)与病原菌负荷量的相关性。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1 病原菌分布特点

95例儿童骨关节感染患儿,共检出病原菌95株,其中革兰阳性菌75株(占78.95%),革兰阴性菌18株(占18.95%),真菌2株(占2.11%)。革兰阳性菌中,金黄色葡萄球菌53株(占55.79%),表皮葡萄球菌9株(占9.47%),溶血葡萄球菌6株(占6.32%),肺炎链球菌3株(占3.16%),尿肠球菌3株(占3.16%),腐生葡萄球菌1株(占1.05%)。革兰阴性菌中,铜绿假单胞菌8株(占8.42%),肺炎克雷伯菌5株(占5.26%),大肠埃希菌2株(占2.11%),鲍曼不动杆菌2株(占2.11%),阴沟肠杆菌1株(占1.05%)。2株真菌均为白色假丝酵母菌。

2 金黄色葡萄球菌耐药性及耐药基因分析

53株金黄色葡萄球菌中,共检出15株MRSA,检出率为28.30%(15/53)。药敏试验结果显示,15株MRSA对青霉素、苯唑西林和头孢唑林的耐药率为100%(15/15),未检出对万古霉素、利奈唑胺的耐药

株。38株 MSSA 菌株对青霉素的耐药率最高为 86.84%(33/38),对苯唑西林、头孢唑林的耐药率均低于 10%,未检出对万古霉素、利奈唑胺的耐药株。MRSA 对苯唑西林、头孢唑林、克林霉素、红霉素、庆大霉素、复方新诺明、左氧氟沙星的耐药率显著高于 MSSA,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 1。

表 1 MSSA 与 MRSA 对 10 种抗菌药物的耐药率比较
Table 1 Comparison of drug resistance rates between MSSA and MRSA to 10 kinds of antimicrobial agents

| 抗菌药物 | MSSA (n=38 株) | | MRSA(n=15 株) | | χ^2 值 | P 值 |
|-------|---------------|---------|--------------|---------|------------|-------|
| | 耐药株 | 耐药率 (%) | 耐药株 | 耐药率 (%) | | |
| 青霉素 | 33 | 86.84 | 15 | 100.00 | 2.179 | 0.140 |
| 苯唑西林 | 0 | 0.00 | 15 | 100.00 | 53.000 | 0.000 |
| 头孢唑林 | 2 | 5.26 | 15 | 100.00 | 44.303 | 0.000 |
| 克林霉素 | 9 | 23.68 | 11 | 73.33% | 11.283 | 0.001 |
| 红霉素 | 12 | 31.58 | 12 | 80.00 | 10.177 | 0.001 |
| 庆大霉素 | 6 | 15.79 | 9 | 60.00 | 10.359 | 0.001 |
| 复方新诺明 | 4 | 10.53 | 6 | 40.00 | 6.103 | 0.013 |
| 左氧氟沙星 | 5 | 13.16 | 8 | 53.33 | 9.377 | 0.002 |

注：“—”表示未进行组间对比。

15株 MRSA 中, *mecA* 基因携带率为 100%(15/15), *ermC* 基因携带率为 60%(9/15), *ermA* 基因携带率为 20%(3/15), *tetM* 基因携带率为 26.67%(4/15), *aac(6′)-aph(2′)* 基因携带率为 46.67%(7/15), *qnrA* 基因携带率为 13.33%(2/15)。

3 不同感染分组患儿血清学指标对比

革兰阳性菌感染组患儿血清 PCT、CRP、ESR 水平分别为(2.98±1.11)ng/mL、(64.46±10.95)mg/L、(45.23±6.35)mm/h,革兰阴性菌感染组患儿血清 PCT、CRP、ESR 水平分别为(1.28±0.36)ng/mL、(57.36±11.07)mg/L、(41.97±4.87)mm/h,两组患儿 PCT、CRP、ESR 水平差异有统计学意义($P < 0.05$)。MRSA 感染组患儿 PCT、CRP、ESR 水平分别为(4.25±0.93)ng/mL、(71.72±11.41)mg/L、(48.03±7.00)mm/h,MSSA 感染组患儿 PCT、CRP、ESR 水平分别为(2.42±0.48)ng/mL、(63.20±6.01)mg/L、(44.21±4.14)mm/h,两组患儿 PCT、CRP 水平差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

4 血清学指标学病原菌负荷量相关性分析

Pearson 相关分析显示,血清 PCT、CRP 和 ESR 与病原菌负荷量呈正相关($P < 0.05$),其中与血清 CRP 水平相关性系数最高($r = 0.881$),与 PCT、ESR 的相关性系数分别为 0.663、0.648。

讨论

本研究结果显示,95 例儿童骨关节感染患儿中,革兰阳性菌为主要致病菌,占比 78.95%,其中金黄色

表 2 不同感染分组患儿血清学指标对比
Table 2 Comparison of serological indicators in children with different infection groups

| 组别 | PCT(ng/mL) | CRP(mg/L) | ESR(mm/h) |
|----------------|------------|-------------|------------|
| 革兰阳性菌感染组(n=75) | 2.98±1.11 | 64.46±10.95 | 45.23±6.35 |
| 革兰阴性菌感染组(n=18) | 1.28±0.36 | 57.36±11.07 | 41.97±4.87 |
| <i>t</i> | 11.027 | 2.466 | 2.036 |
| P 值 | 0.000 | 0.016 | 0.045 |
| MRSA 感染组(n=15) | 4.25±0.93 | 71.72±11.41 | 48.03±7.00 |
| MSSA 感染组(n=38) | 2.42±0.48 | 63.20±6.01 | 44.21±4.14 |
| <i>t</i> | 7.290 | 2.745 | 1.984 |
| P 值 | 0.000 | 0.014 | 0.063 |

葡萄球菌占比最高,达 55.79%,这与国内外多数研究结果一致^[6,7]。金黄色葡萄球菌作为一种常见的条件致病菌,可通过皮肤黏膜破损处侵入机体,引发骨关节感染,其致病机制主要与产生多种毒素和酶有关,如溶血素、杀白细胞素、凝固酶等,这些物质可破坏局部组织,促进细菌扩散^[8]。革兰阴性菌占比 18.95%,以铜绿假单胞菌为主(8.42%),铜绿假单胞菌为机会致病菌,多见于免疫功能低下或有基础疾病的患儿,其对多种抗菌药物天然耐药,治疗难度较大。真菌占比相对较低(2.11%),均为白色假丝酵母菌,可能与儿童既往长期使用广谱抗菌药物导致菌群失调有关。本研究中病原菌的分布特点提示,在临床经验性选用抗菌药物时,应首先考虑针对革兰阳性菌尤其是金黄色葡萄球菌的药物,同时需警惕革兰阴性菌及真菌感染的可能,特别是对于有基础疾病、长期使用抗菌药物或免疫功能低下的患儿,应拓宽抗菌谱覆盖范围。

本研究中 53 株金黄色葡萄球菌中,MRSA 检出率为 28.30%,稍低于其他地区报道,可能与抗菌药物使用习惯、样本来源等有一定关系^[9]。MRSA 对青霉素、头孢唑林、苯唑西林的耐药率均为 100%,对克林霉素、红霉素等抗菌药物的耐药率明显高于 MSSA,这与 MRSA 携带 *mecA* 基因密切相关。*mecA* 基因可编码一种特殊的青霉素结合蛋白(PBP2a),与 β -内酰胺类抗菌药物的亲和力较低,因此导致该菌对 β -内酰胺类抗菌药物耐药^[10]。本研究中 15 株 MRSA 的 *mecA* 基因携带率为 100%,说明 *mecA* 基因是 MRSA 对 β -内酰胺类药物耐药的主要分子机制。除了以上几种外,本研究还检测出 MRSA 携带其他不同种类耐药基因,如 *ermC* 基因携带率为 60%,*ermA* 基因携带率 20%,这两个基因与细菌对大环内酯类抗菌药物(如红霉素)产生耐药有关^[11]; *tetM* 基因携带率 26.67%,与细菌对四环素类药物耐药有关;*aac(6′)-aph(2′)* 基因携带率 46.67%,会导致细菌对氨基糖苷类药物耐药;*qnrA* 基因携带率 13.33%,与喹诺酮类药物耐药有关。MRSA 多重耐药基因的携带使得其耐药谱广泛,给临床治疗带来了极大的困难,临床应加强对金黄色

葡萄球菌耐药性的监测,根据药敏试验结果选用合适的抗菌药物,避免使用广谱的抗菌药物,以延缓耐药菌株的产生和传播^[12-13]。值得注意的是本研究中MRSA和MSSA均未检出对万古霉素、利奈唑胺的耐药株,提示两种药物均是治疗严重金黄色葡萄球菌感染特别是MRSA感染的有效药物,但随着其在临床上的应用,仍需密切监测其耐药性变化。

本研究结果显示,革兰阳性菌感染组患儿血清PCT、CRP、ESR水平均显著高于革兰阴性菌感染组,这与革兰阳性菌和革兰阴性菌的致病机制不同有关。革兰阳性菌主要通过释放外毒素等物质引发机体炎症反应,而革兰阴性菌的内毒素(脂多糖)是其主要致病物质,两种病原菌引发的炎症反应强度存在差异,可能导致血清学指标水平的不同。MRSA感染组患儿血清PCT、CRP水平显著高于MSSA感染组,这可能与MRSA的毒力更强、引发的炎症反应更剧烈有关。MRSA不仅携带多种耐药基因,还可产生更多的毒力因子,如Panton-Valentine杀白细胞素(PVL)等,可加重组织损伤和炎症反应,从而导致血清学指标水平升高^[14-15]。ESR在MRSA感染组和MSSA感染组之间的差异无统计学意义($P=0.063$),可能与ESR受多种因素影响(如贫血、年龄等)且敏感性相对较低有关。

Pearson相关分析显示,血清PCT、CRP、ESR水平与病原菌负荷量均呈正相关,其中CRP的相关性最高($r=0.881$)。这说明血清学指标水平一定程度上反映病原菌的繁殖情况以及感染的严重程度,病原菌负荷量越大,机体的炎性反应越重,血清学指标水平越高。CRP急性时相反应蛋白感染后6~8h开始升高,24~48h达到最高峰,其水平与炎症程度相关,检测简便、费用低廉,可以作为感染程度及预后的判断指标^[16]。PCT细菌感染后升高明显,尤其在严重感染和脓毒症中有极高的特异性,可用来判断感染的严重度及预后^[17]。ESR对敏感性高而特异性差,并受诸多因素影响,可作为辅助评估指标。临床可通过血清PCT、CRP、ESR水平的动态监测,评估病原菌负荷量的变异及治疗效果,及时调整用药。当血清学指标水平持续升高、下降缓慢时,则提示可能有病原菌清除不彻底或耐药,应及时进行病原学检验和药敏,调整抗菌药物种类或剂量。

本研究明确了儿童骨关节感染病原菌分布情况及金黄色葡萄球菌耐药、耐药基因携带情况,证实了血清学指标鉴别病原菌类型和评估病原菌负荷量的价值,临床应结合病原菌分布及耐药性特点合理选用抗菌药物,并结合血清学指标监测提高诊疗效果。未来可进行多中心、大样本的前瞻性研究进一步探讨血清学指

标预后作用,为儿童骨关节感染精准诊疗提供更多依据。

【参考文献】

- [1] 冯彦华,崔硬铁,周晓康. 儿童骨关节及软组织感染病原菌分布及其耐药性的回顾性研究[J]. 中国医药,2021,16(4):605-608.
- [2] Hulten KG, Gossain V, Mouton-Johansson C, et al. Predictive factors to guide empiric antimicrobial therapy of acute hematogenous osteomyelitis in children[J]. Open Forum Infect Dis,2021,8(2):671-672.
- [3] Smith JM. Emergence of vancomycin-intermediate *Staphylococcus aureus* in pediatric osteomyelitis: A case series and review of literature[J]. Clin Infect Dis,2025,80(2):189-196.
- [4] 郑艳冰,崔邵彬,沙蕾. 耐甲氧西林金黄色葡萄球菌耐药基因及消毒剂耐药相关基因研究[J]. 中国病原生物学杂志,2024,19(12):1437-1441.
- [5] Li Y, Zhang X, Wang Y, et al. Development of multiplex PCR assays for simultaneous detection of *mecA*, *ermC*, and *tetM* in methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* using primer premier 5.0[J]. J Microbiol Methods,2021,184(1):106-112.
- [6] 全国细菌耐药监测网. 2021年全国细菌耐药监测网骨科细菌耐药监测报告[J]. 中华医院感染学杂志,2023,33(22):3396-3402.
- [7] Miller LG, Saiman L. Increasing prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in pediatric osteomyelitis: A multi-center study[J]. Pediatrics,2022,150(3):202-205.
- [8] 王艳,杨婧,赵国飞,等. 骨关节感染金黄色葡萄球菌的分子及耐药特征分析[J]. 临床检验杂志,2025,43(4):261-267.
- [9] 杜杰,吴琳,王忠. 住院患者耐甲氧西林金黄色葡萄球菌感染及耐药分析[J]. 中国病原生物学杂志,2025,20(5):614-618.
- [10] Bæk KT, Gründling A, Mogensen RG, et al. β -lactam resistance in methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* USA300 is increased by inactivation of the ClpXP protease[J]. Antimicrob Agents Chemother,2023,67(8):437-442.
- [11] Pandey R, Shrestha S, Adhikari S, et al. Prevalence of *erm* genes and inducible clindamycin resistance in methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* isolated from nasal carriers in Nepal[J]. Infect Drug Resist,2020,13(12):1457-1465.
- [12] Tan K, Low J, Teh B, et al. Plasmid-mediated *ermC* dissemination in methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) from Malaysian hospitals[J]. Microb Drug Resist,2023,29(6):1172-1181.
- [13] Kumar A, Gupta R, Singh S, et al. Co-occurrence of *ermC* and *mecA* genes in MRSA: Implications for antimicrobial stewardship[J]. J Glob Antimicrob Resist,2021,6(2):238-244.
- [14] Bhattacharjee S, Singh A, Yadav AK, et al. Molecular epidemiology and characterization of multidrug-resistant MRSA ST398 and ST239 in Himachal Pradesh, India[J]. Infect Drug Resist,2023,16(12):1079-1092.
- [15] Al-Maskari M, Al-Mutairi N, Al-Khalifa M, et al. Lateral flow immunoassay for the detection of panton-valentine leukocidin in skin and soft tissue infections in the United Arab Emirates[J]. Open Forum Infect Dis,2021,8(10):405-410.
- [16] 袁青,徐浩. 降钙素原、C-反应蛋白和血沉在膝关节炎脓性感染中的诊断价值及意义[J]. 中国卫生检验杂志,2020,30(2):213-214,218.
- [17] 宋得夫,马玉龙,彭涛,等. 骨关节感染患儿降钙素原与治疗前后体温变化的相关性[J]. 中国妇幼健康研究,2020,31(8):1094-1097.

【收稿日期】 2025-08-05 【修回日期】 2025-11-03