

儿童急性骨髓炎的流行病学、病因学、诊断及治疗最新进展

姜鑫¹, 贾昊若^{2*}

¹西安医学院研究生工作部, 陕西 西安

²西安交通大学附属红会医院儿童骨病医院矫形重建病区, 陕西 西安

收稿日期: 2026年2月13日; 录用日期: 2026年3月6日; 发布日期: 2026年3月17日

摘要

儿童急性骨髓炎(acute osteomyelitis, AO)是儿童严重肌肉-骨骼感染疾病, 其虽少见, 但若是诊断或治疗延误, 可进展为亚急性/慢性感染并造成生长板损伤、肢体异常发育等并发症。近年来, 多国研究提示报告发病率呈上升趋势, 且病原谱出现一定变化, 其中耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)相关感染的重症病例比例增加, 同时随着分子诊断技术的应用金格杆菌(*Kingella kingae*)在低龄儿童中的检出率升高。在诊断领域中, 血培养与影像学检查始终是临床诊断的基石, 在面临已使用抗生素或培养结果为阴性的病例时, 传统方法的检出效能常显不足; 此时, 聚合酶链式反应(PCR)、多重PCR及宏基因组测序(mNGS)等分子诊断技术, 往往能够提高病原菌的识别率。治疗方面, 经验性抗菌覆盖需结合患者年龄差异与地区耐药流行特征; 对于无并发症AO患者, “短程静脉-序贯口服”的个体化策略在病情与炎症指标改善的前提下可降低导管并发症的同时维持疗效。本文旨在综述AO的流行病学现状、病原微生物学特点、诊断路径的演进以及治疗策略的最新进展, 并对当前领域内的争议焦点与未来潜在的研究方向进行探讨。

关键词

急性骨髓炎, 病原微生物, 流行病学, 序贯治疗, 宏基因组测序

Recent Advances in Pediatric Acute Osteomyelitis: Epidemiology, Etiology, Diagnosis, and Management

Xin Jiang¹, Haoruo Jia^{2*}

¹Graduate School Affairs Department of Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

*通讯作者。

文章引用: 姜鑫, 贾昊若. 儿童急性骨髓炎的流行病学、病因学、诊断及治疗最新进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 2734-2743. DOI: 10.12677/acm.2026.1631074

²Department of Orthopedic Reconstruction, Pediatric Orthopedic Hospital, Honghui Hospital Affiliated to Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi

Received: February 13, 2026; accepted: March 6, 2026; published: March 17, 2026

Abstract

Acute osteomyelitis (AO) in children represents a serious musculoskeletal infection. Although relatively rare, delayed diagnosis or treatment can lead to progression to subacute/chronic infection and complications such as growth plate damage and limb deformity. Recent multinational studies indicate a rising reported incidence, alongside shifts in the pathogen spectrum. Notably, there has been an increase in severe cases associated with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), while the application of molecular diagnostics has revealed a higher detection rate of *Kingella kingae* in young children. In diagnosis, blood culture and imaging remain cornerstones. However, their yield is often limited in cases with prior antibiotic exposure or negative cultures. In such scenarios, molecular diagnostic techniques—including polymerase chain reaction (PCR), multiplex PCR, and metagenomic next-generation sequencing (mNGS)—can significantly improve pathogen identification. Regarding treatment, empirical antibiotic coverage must account for patient age and regional resistance patterns. For uncomplicated AO, an individualized strategy of short-course intravenous therapy followed by oral antibiotics, guided by clinical and inflammatory marker improvement, can maintain efficacy while reducing catheter-related complications. This review summarizes current epidemiology, evolving microbiological profiles, advances in diagnostic pathways, and updates in management strategies for AO, and discusses key controversies and potential future research directions within the field.

Keywords

Acute Osteomyelitis, Microbiology, Epidemiology, Sequential Therapy, Metagenomic Next-Generation Sequencing (mNGS)

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

儿童急性骨髓炎(AO)是儿童肌肉骨骼系统的急重症感染,常累及长骨干骺端[1][2]。若在疾病初期出现诊断延迟或治疗欠规范,感染进程可能向骨皮质、骨膜下区域乃至邻近关节蔓延[3]。此种进展常引发一系列长期并发症,包括生长板损伤、肢体不等长、关节活动功能受限以及感染迁延不愈,对患者远期生活质量构成显著影响[4]。AO的流行病学特征与病原谱分布,在不同年龄层及地理区域间呈现明显异质性[5]。总体好发于男性儿童,且在低收入地区造成的医疗负担尤为突出[6][7]。随着分子诊断技术的广泛应用,低龄儿童中金格杆菌的检出率呈现上升趋势;同时,在部分国家或地区,与耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)相关的重症病例比例有所增加[8]-[10]。这些动态变化对临床初始经验性用药的选择以及手术干预时的把握,均构成了新的挑战。基于上述变化,更新AO的诊断路径与个体化治疗策略,对于降低并发症与优化医疗资源利用具有重要意义。

血行型播散是AO最常见的感染途径,外伤导致的直接感染以及邻近感染灶蔓延也是AO的感染途

径[11][12]。临床诊疗中,单凭症状与体征难以与化脓性关节炎、骨肿瘤等疾病鉴别,因此还需要结合炎症指标、病原学检查与影像学检查完成诊断[9]。金黄色葡萄球菌是 AO 最为常见的病原体,然而其病原谱分布具有明显的年龄差异性[9]。同时,各地区的抗菌药物耐药形势将直接影响经验性用药策略的制定。对于高度怀疑 AO 的患儿,在完成血培养等必要标本采集后,应尽快启动经验性抗菌治疗以免治疗延误;其后则结合病原学检查结果和临床症状与实验室指标的动态变化,及时对治疗方案进行针对性调整[13]。

在儿童 AO 的诊断与治疗领域,现阶段已有多项指南与专家共识对治疗策略、静脉治疗向口服序贯转换的时机把握以及手术干预的适应证提出相对明确的建议[14]-[17],然而,受不同地区耐药谱差异、影像学资源可及性不均以及病例严重程度分布不一致等因素影响,临床实践中的诊疗策略呈现出显著的异质性[14][18][19]。尽管,指南层面虽已给出方向性意见,但在地区耐药生态与病例异质性共同作用下,若干关键节点——包括总疗程长度、序贯治疗的边界界定以及分子诊断技术在诊疗流程中的定位——目前仍存在一定争议,临床决策亦因此更依赖情境化判断与动态评估[14]。基于上述背景,系统梳理 AO 的流行病学特征,病原谱改变及诊疗策略的最新证据,对于优化风险分层管理、降低并发症发生具有重要意义。

2. 流行病学

现有研究表明,儿童 AO 的发病率在不同国家和地区之间存在显著差异[20][21],报告值受到研究设计、病例定义及诊断手段可及性等多重因素影响[22]。在高收入发达国家,儿童 AO 的年发病率多报道约为 5~10/10 万,而在中低收入地区,发病率显著升高,部分研究报道可达 40~200/10 万[21]。值得注意的是,不同地区间发病率差异并不能完全反映疾病真实生物学负担,也可能与医疗资源分布、影像学检查及流行病学监测体系息息相关。

从年龄分布来看,儿童 AO 更多呈现低龄高发的特点,多数研究描述为“双峰”或“早期偏高”的分布模式:婴幼儿期(约 6 月龄至 4 岁)为首个高峰期[20],学龄期儿童也是常见发病人群[23]。解剖学上,长骨为好发部位,长骨中下肢骨最易受累,股骨与胫骨的感染报道频率最高[11]。这一特征与儿童骨骼干骺端血供特点及骨骼生长活跃程度密切相关[24]。

值得注意及区分的是,近年来部分国家报告 AO 发病率上升趋势可能与诊断能力提升及真实疾病负担变化共同相关,需在统一病例定义下进一步验证。所以,在解读流行病学数据时,应该区分“真实负担变化”与“诊断能力提升”带来的检出效应。未来亟需基于统一病例定义与风险分层标准的多中心前瞻性研究,更准确地评估不同地区儿童 AO 的疾病负担及其变化趋势。

2.1. 病原谱及其演变

大量研究表明,金黄色葡萄球菌仍是儿童 AO 最常见的致病菌,其次为链球菌属、金格杆菌和革兰氏阴性菌[1]。

在金黄色葡萄球菌的感染中,甲氧西林敏感型金黄色葡萄球菌(methicillin-sensitive *Staphylococcus aureus*, MSSA)是最常见的病原体,值得注意的是 MRSA 的感染率也逐年上升,并且 MRSA 感染与更高的炎症水平、脓肿形成率及并发症风险密切相关[25]。基于此,地区/区域耐药流行特征已经是经验性抗菌治疗决策的重要依据。

病原谱在不同年龄段存在明显差异。新生儿及 3 月龄以下婴儿的常见致病菌包括金黄色葡萄球菌、B 族链球菌及大肠杆菌等革兰阴性菌;而在 3 月龄至 4 岁儿童中,金格杆菌的检出率显著升高,与金黄色葡萄球菌一起构成主要病原[7]。而 b 型流感嗜血杆菌(Hib)随着疫苗的广泛接种在 AO 中的致病率明显下降。5 岁及以上儿童的病原谱则相对集中,以金黄色葡萄球菌和链球菌属为主[7]。

值得一提的是, 宿主基础状态可显著影响致病菌构成[26]。镰状细胞疾病患儿更易发生沙门氏菌感染; 免疫功能受损或接受免疫抑制治疗的儿童中, 革兰氏阴性菌及机会致病菌比例增加[27]; 而穿透伤、开放性骨折或外伤相关感染则需要警惕铜绿假单胞菌等非典型病原体[27]。上述差异则强调了在经验性抗菌治疗前进行年龄与风险分层评估的必要性, 也为后续个体化抗菌方案调整提供依据。

2.2. 病理过程

儿童急性血源性骨髓炎(AO)的关键病理环节并不在“解剖名词本身”, 而在于感染倾向于在骨端附近终末血管区域停留并扩散。临床上最常见的起点仍是血行播散: 病原体到达长骨干骺端附近的微循环后, 因血流相对缓慢、局部组织反应活跃, 更易发生细菌黏附与定植, 继而出现骨髓水肿和炎症细胞浸润[7]。随着感染负荷上升, 髓腔内压力增加与微血管灌注受损可并行出现, 进而推动局部缺血与组织坏死, 形成骨内或骨膜下脓肿, 并可能进一步累及邻近软组织或关节腔[28]。

需要强调的是, 年龄相关的血供差异决定了感染“往哪里走”: 在婴幼儿阶段(约18个月以内), 骨端间仍可存在跨越生长板的血管通路, 使感染更可能跨越骺板波及骨骺甚至关节[29][30]; 而在较大儿童, 生长板逐渐形成相对屏障, 感染更常沿阻力较小方向向骨膜下扩散并形成骨膜下脓肿。对骨盆、脊柱等“非典型长骨干骺端结构”的部位而言, 更重要的是认识到这些区域同样存在类似终末血管网与局部解剖间隙[31], 因此在症状不典型或定位困难时, 影像学(尤其MRI)对病灶范围判断和是否合并脓肿/关节受累的决策价值更高。

3. 诊断

儿童AO的诊断不只依赖某一检查手段, 而是在临床基础上的多模态综合判断。核心目标在于: 尽早确认感染、明确病灶范围、识别是否合并脓肿或关节受累, 并尽可能确认病原体以指导抗菌治疗。实践中, 诊断路径通常遵循“临床评估→实验室炎症指标→病原学检验→影像学分层评估”的顺序展开, 各环节相互补充而非相互替代。

儿童AO的临床表现具有明显的非特异性, 常以急性或亚急性起病。典型表现包括局部骨痛、患肢活动受限或拒绝负重, 可伴或不伴发热[31]。不同年龄段患儿的表现存在差异: 新生儿及婴幼儿期症状往往隐匿, 可能仅表现为易激惹、活动减少或“假性麻痹”; 而学龄期及青少年患儿更常出现局灶性疼痛和功能障碍[15]。

需要注意的是, 部分病原相关感染(如金格杆菌)可仅引起轻度或缺乏明显全身炎症反应, 体温、白细胞计数及C反应蛋白(C-reactive protein, CRP)升高不显著, 但局部疼痛或跛行症状仍较突出, 易导致临床漏诊或延误影像学评估[31][32]。因此, 仅依赖临床症状难以可靠区分AO与其他骨关节疾病, 需结合实验室指标及影像学检查进一步明确诊断和评估病变范围。

3.1. 实验室检查

在疑似AO的患儿中, 实验室检查主要用于支持感染诊断、评估疾病严重程度及动态监测治疗反应。常用指标包括白细胞计数(WBC)、CRP及红细胞沉降率(erythrocyte sedimentation rate, ESR)[9]。CRP具有起效快、动态变化敏感的特点, 是临床中最具实用价值的炎症指标之一[33]。

在儿童AO中, WBC升高并非始终存在, 约半数患儿在初诊时可表现在正常范围, 因此WBC正常并不能排除感染。相比于WBC, CRP与ESR的敏感性更高, 二者联合使用有助于识别感染炎症状态。CRP在治疗后的快速下降, 尤其是在48~72小时内下降趋势明显, 常常被认为是治疗有效的重要信号, 并可辅助判断是否具备从静脉向口服抗菌治疗转换的条件[33]。

降钙素原(procalcitonin, PCT)在区分细菌性与重症病毒感染中具有一定价值, 但是在局限性骨感染中

的敏感性相对有限, 其常规应用尚缺乏一致证据支持[34]。因此, 当下共识更倾向于将 CRP 与 ESR 作为 AO 诊断和随访的核心实验室指标, 而不是依赖单一检测结果。

3.2. 微生物学检测

病原学检测是儿童 AO 诊断与治疗的核心要点。血培养是最重要、最具临床指导意义的初始病原学检查, 其阳性结果可以明确致病菌也可以提供药物敏感信息, 以达到精准的抗菌治疗[35]。多数研究报道血培养在儿童 AO 中的总体阳性率约为 30%~50% [35], 指南中强调血培养的时机至关重要, 应尽量在任何抗菌药物使用前采集血培养标本。

对影像学提示明确病灶、尤其是合并脓肿或需要手术干预的病例, 可选择有创性穿刺或术中对骨组织/脓液样本进行培养, 进一步提升病原学确诊率。血培养与局部取材培养都被认为最佳时机是在抗菌药物之前, 二者联合应用被认为是目前病原微生物监测最有效的手段之一[9] [36]。

近年来, 分子病原学检测技术在儿童 AO 诊断中的应用明显增加。基于 PCR 的检测方法在识别培养结果阴性病例方面具有明显优势, 也适用于既往已经接受过抗菌治疗或感染金格杆菌等患儿[36]。多重 PCR 技术可在较短时间内同时检测多种常见致病菌, 为初期的临床诊疗提供策略支持。

宏基因组测序(metagenomic next-generation sequencing, mNGS)作为一种非靶向监测技术, 理论上可一次性识别样本中所有微生物核酸, 特别是在罕见病原微生物、混合感染或常规检测阴性的复杂病例中具有潜在价值[36] [37]。但是, 目前 mNGS 的临床应用成本高、且结果解读复杂, 未能在临床中广泛推广[37]。mNGS 检测结果的阳性并不必然代表致病因果关系, 必须结合临床表现、影像学特征及传统培养结果进行综合判断。所以, 多数学者认为 mNGS 更可以作为补充性诊断工具, 不可直接替代常规培养手段。

3.3. 影像学检查

影像学检查在儿童 AO 的诊断与管理中承担着确认病灶、评估感染范围以及指导治疗决策的重要作用。在 AO 的影像学评估中, 常规 X 线检查凭借其广泛可及且操作简便的特点, 通常被作为首选的初步筛查手段, 目的在于协助排除骨折或骨肿瘤等非感染性病变[38]。然而, 必须认识到, X 线检查在疾病早期阶段对骨髓水肿及软组织细微改变的检测敏感性存在局限性; X 线表现正常并不能排除 AO 的诊断[38]。除协助诊断外, 该技术亦常应用于治疗后的随访监测, 以评估骨性结构的愈合情况以及相关并发症的发生。

超声检查(US)不是主要用于确诊的一种检查手段, 但可作为一种早期筛查工具使用。在 AO 早期超声检查可见骨膜下积液导致骨膜抬升或增厚和周围软组织肿胀, 在 AO 晚期则可观察到骨皮质不规则或破坏[39]。US 还有一个更重要的作用是作为引导工具, 引导诊断性或治疗性的介入操作[39]。

磁共振成像(MRI)因其对骨髓水肿、软组织炎症及脓肿形成具有最高的敏感性和特异性, 被公认为儿童 AO 影像学诊断的金标准[40]。磁共振成像(MRI)在疾病早期即具备识别感染灶的能力, 其价值不仅限于早期诊断, 更在于能够精确评估病变的解剖范围、明确是否存在骨膜下脓肿或关节受累等情况——这些关键信息直接决定了手术干预的必要性与后续治疗策略的制定[41]。在临床实践中, 若患儿出现持续高热、炎症指标显著升高、临床表现与初步检查结论不符, 或在接受初始治疗 48 至 72 小时后疗效未达预期, 则应尽早进行 MRI 检查, 以获取更全面、精准的病情评估。

计算机断层扫描(CT)诊断 AO 时不作为首选或常规检查。CT 无法可靠地显示早期的骨髓水肿和炎症[9]。CT 在显示骨皮质破坏、死骨、骨包壳形成和气体方面具有极高分辨率, 但这些表现多见于慢性骨髓炎。因此, CT 在疾病成为慢性骨髓炎时, 价值更高, 同时 CT 也和超声一样可作为一种引导工具。

4. 治疗

儿童 AO 的治疗目标在于迅速控制感染、避免并发症, 并最大限度降低对骨生长与关节功能的长期

影响。治疗策略通常包括经验性抗菌治疗、病原菌识别后的针对性调整以及在必要时联合外科干预。当前共识认为, 治疗路径应基于疾病严重程度、影像学表现及宿主风险因素进行分层, 而不是采用统一疗程或固定模式。

4.1. 抗生素治疗

在高度怀疑 AO 的患儿中, 一旦完成血培养及必要的局部取材, 应该立即启动经验性抗菌治疗[9]。经验性用药的选择需要综合考虑患儿年龄、局部致病菌及耐药流行情况。对于大多数地区, 覆盖金黄色葡萄球菌是经验性治疗的核心; 在 MRSA 流行率较高的地区或存在重症的患儿中, 应将 MRSA 覆盖纳入初始方案[28]。

随着相关医学研究证据的不断丰富, 儿童 AO 的抗菌治疗方案已发生明显变化。过去普遍采用较长时间的静脉输液治疗, 而现在则更加倾向于根据患儿的具体情况制定个体化的治疗计划。多项高质量的临床研究结果均表明, 对于没有出现并发症的 AO 患儿, 采用短期静脉治疗(一般为 3 到 7 天)之后, 接着改为口服药物完成后续疗程, 其最终治疗效果与以往长期静脉治疗相比是相似的[9] [42]。同时, 这种短期静脉续贯口服的方案还能明显减少因长期留置输液管可能引起的副作用, 并有助于缩短患儿需要住院的时间。目前, 大多数研究认为抗菌治疗由静脉途径转为口服治疗基于临床症状明显改善、体温恢复正常以及 CRP 等炎症指标呈现持续下降趋势, 并非单纯依赖某个固定时间点[43]。

需要强调的是, 上述短程静脉 - 口服序贯策略并不适用于所有患儿。对以下高风险人群, 应慎重评估并个体化延长静脉治疗疗程: ① 影像学证实存在骨膜下或骨内脓肿; ② 合并化脓性关节炎或多灶性感染; ③ 疑似或确诊 MRSA 感染且炎症反应显著; ④ 新生儿及免疫功能受损患儿。在这些情形下, 过早转为口服治疗可能增加复发或并发症风险。

4.2. 外科治疗

外科干预在儿童 AO 的治疗中并非所有病例的必需选择, 其核心在于清除脓性病灶、降低局部感染负荷并获取可靠的病原学标本。现有研究普遍认为, 手术方式的选择应服从于病变部位、感染范围及患儿整体状况, 而非追求特定术式本身。

临床上, 外科干预的主要适应证包括: 影像学证实的骨膜下或骨内脓肿形成、抗菌治疗 48~72 小时后临床及实验室指标无明显改善、合并化脓性关节炎以及感染导致的进行性功能障碍[44]。经皮穿刺引流术在影像引导下可作为早期或局限性脓肿的微创选择, 但其引流不充分可能增加复发风险; 骨钻孔减压术有助于降低骨内压力并缓解疼痛, 但需注意术后感染控制; 骨开窗清创术虽创伤较大, 但在广泛感染或坏死骨形成时有助于彻底清除病灶[42]。

需要指出的是, 目前关于儿童 AO 不同手术方式的比较研究多为回顾性分析, 且手术指征与术式选择缺乏统一标准。因此, 外科干预的决策应强调“是否需要手术”而非“选择哪种手术”, 并在影像学评估与多学科讨论的基础上进行。

抗菌治疗与外科干预并非相互独立的治疗路径, 而应在统一的管理框架下协同进行。手术不仅有助于感染控制, 也为病原学确证和抗菌药物精准调整提供关键依据。相反, 充分的抗菌治疗可在一定程度上限制感染范围, 降低手术创伤需求。实践中, 由儿科感染科、骨科及影像科组成的多学科团队, 对复杂或反应欠佳病例进行联合评估, 有助于优化治疗时机并改善预后。

4.3. 复杂/高风险病例的特殊管理策略

在儿童 AO 的管理中, 真正影响结局的往往不是疗程长短本身, 而是能否在早期识别高风险表型并及时调整策略。因此, 对 MRSA 感染、新生儿 AO 以及骨盆或脊柱 AO, 应采取更审慎的分层管理思路。

MRSA 感染或高度怀疑 MRSA 时, 应在经验治疗阶段即纳入有效覆盖, 并尽早通过 MRI 明确是否存在骨内或骨膜下脓肿、关节受累或软组织扩散。相关研究与指南均提示, MRSA 及其他毒力较强的葡萄球菌感染更易合并复杂病程, 通常需要更长的总疗程(多为 4~6 周量级)及更积极的影像学评估; 是否序贯口服应严格基于临床改善、炎症指标下降及依从性评估综合判断[14] [43]。新生儿 AO 往往症状隐匿, 病原谱相对更广。对这类患儿, 诊断阶段应尽可能在抗菌治疗前完成血培养及必要的局部取材, 影像学上更倾向早期行 MRI 评估病灶范围。治疗方面通常不宜过早序贯, 总疗程及静脉疗程多需个体化延长, 停药决策应结合临床反应、炎症指标变化及必要时的影像学结果综合判断[14]。骨盆或脊柱 AO 常表现为定位不典型的腹股沟、臀部或腰背疼痛, 早期 X 线及超声可能无特异发现。MRI 在此类病例中具有决定性价值, 可用于识别椎旁或骶髂区域病灶及脓肿形成, 并直接影响是否需要介入或手术治疗[45]。由于此类部位更易形成复杂病程, 疗程往往相对延长, 复评节点亦应更加严格。

综上, 对于上述高风险人群, “48~72 小时内的动态再评估”较单纯讨论固定疗程更为关键, 应结合症状改善、CRP 变化趋势及影像学进展综合决策。

5. 争议与局限

儿童 AO 治疗中的核心争议之一, 是停药时机应以生物标志物为主导, 还是采用固定疗程。其本质并非简单的“疗程长短”问题, 而是如何在降低复发风险的同时避免过度治疗。

CRP 对炎症反应变化敏感, 因而被广泛用于评估治疗反应。部分随机对照研究在“临床明显改善 + CRP 下降至一定阈值”的前提下, 显示较短总疗程与传统较长疗程在单纯病例中结局相当。然而, 这类研究多集中于病程相对单纯、以 MSSA 为主的患儿, 且停药并非仅依据 CRP 单一指标。因此, 将其简单等同为“CRP 正常即可停药”并不适用于 MRSA、合并脓肿或其他复杂病例。

固定疗程具有操作性强的优势, 尤其在随访条件有限时更具现实意义。但其局限性同样明显: 对恢复迅速的单纯病例可能偏长, 而对 MRSA、新生儿或骨盆/脊柱 AO 等复杂病例则可能不足。既往资料提示过短疗程可能增加复发风险, 但受研究年代及治疗条件差异影响, 难以直接外推至当前实践。

结合现有证据, 更稳妥的做法是在设定基本疗程框架的基础上, 结合临床症状改善、CRP 持续下降趋势及必要时影像学恢复情况进行个体化决策。对于复杂病例, 疗程往往需要延长, 且停药应更为谨慎。现有研究对复杂表型缺乏高质量前瞻性比较数据, 这也是当前证据体系的主要局限。

总体而言, 停药决策不应依赖单一指标, 而应在风险分层基础上进行动态评估, 并保证充分随访, 以在安全性与治疗负担之间取得平衡。

6. 未来研究方向

未来关于儿童 AO 的研究应着重于以下几个方向: (1) 开展基于统一病例定义与风险分层标准的多中心前瞻性研究, 以明确不同地区儿童 AO 的真实疾病负担及病原谱变迁; (2) 在不同耐药流行背景下, 系统评估短程静脉 - 口服序贯抗菌治疗在高风险人群中的安全边界; (3) 建立分子病原学检测(包括 PCR 与 mNGS)的规范化应用流程, 并评估其在临床决策中的成本效益; (4) 探索基于影像学、炎症指标与临床特征的综合预测模型, 以优化手术时机选择和随访策略。

7. 结论

儿童 AO 是一种需高度警惕的感染性疾病, 其临床管理正随着病原谱变迁、诊断技术进步及治疗理念更新而不断演变。MRI 在明确病灶范围和指导治疗决策中具有核心地位; 病原学确证仍应以培养为基础, 分子检测作为重要补充; 抗菌治疗应在循证基础上实施个体化分层, 避免不必要的长程静脉治疗,

同时警惕高风险人群的复发与并发症。未来, 通过高质量前瞻性研究与多学科协作, 有望进一步优化 AO 的诊断路径与治疗策略, 从而改善患儿的长期预后。

参考文献

- [1] Funk, S.S. and Copley, L.A.B. (2017) Acute Hematogenous Osteomyelitis in Children. *Orthopedic Clinics of North America*, **48**, 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2016.12.007>
- [2] Agarwal, A. and Aggarwal, A.N. (2015) Bone and Joint Infections in Children: Acute Hematogenous Osteomyelitis. *The Indian Journal of Pediatrics*, **83**, 817-824. <https://doi.org/10.1007/s12098-015-1806-3>
- [3] Desimpel, J., Posadzy, M. and Vanhoenacker, F. (2017) The Many Faces of Osteomyelitis: A Pictorial Review. *Journal of the Belgian Society of Radiology*, **101**, Article 24. <https://doi.org/10.5334/jbr-btr.1300>
- [4] Sarmiento Clemente, A., McNeil, J.C., Hultén, K.G., Vallejo, J.G., Scheurer, M.E. and Kaplan, S.L. (2023) Assessing Risk for Complications in Acute Hematogenous Osteomyelitis in Children: Validation of 2 Predictive Scores. *Journal of the Pediatric Infectious Diseases Society*, **12**, 610-617. <https://doi.org/10.1093/jpids/piad095>
- [5] Walter, N., Bärtl, S., Alt, V. and Rupp, M. (2021) The Epidemiology of Osteomyelitis in Children. *Children*, **8**, Article 1000. <https://doi.org/10.3390/children8111000>
- [6] Campbell, J.I., Shanahan, K.H., Bartick, M., Ali, M., Goldmann, D., Shaikh, N., *et al.* (2023) Racial and Ethnic Differences in Length of Stay for US Children Hospitalized for Acute Osteomyelitis. *The Journal of Pediatrics*, **259**, Article 113424. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2023.113424>
- [7] Popescu, B., Tevanov, I., Carp, M. and Ulici, A. (2020) Acute Hematogenous Osteomyelitis in Pediatric Patients: Epidemiology and Risk Factors of a Poor Outcome. *Journal of International Medical Research*, **48**, e 0300060520910889. <https://doi.org/10.1177/0300060520910889>
- [8] Yagupsky, P. (2004) Kingella Kingae Infections of the Skeletal System in Children: Diagnosis and Therapy. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, **2**, 787-794. <https://doi.org/10.1586/14789072.2.5.787>
- [9] Gornitzky, A.L., Kim, A.E., O'Donnell, J.M. and Swarup, I. (2020) Diagnosis and Management of Osteomyelitis in Children: A Critical Analysis Review. *JBJS Reviews*, **8**, e19.00202. <https://doi.org/10.2106/jbjs.rvw.19.00202>
- [10] Hatzenbuehler, J. and Pulling, T.J. (2011) Diagnosis and Management of Osteomyelitis. *American Family Physician*, **84**, 1027-1033.
- [11] Dartnell, J., Ramachandran, M. and Katchburian, M. (2012) Haematogenous Acute and Subacute Paediatric Osteomyelitis. *The Journal of Bone and Joint Surgery, British Volume*, **94**, 584-595. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.94b5.28523>
- [12] Alvares, P.A. and Mimica, M.J. (2020) Osteoarticular Infections in Pediatrics. *Jornal de Pediatria*, **96**, 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2019.10.005>
- [13] Llewellyn, A., Jones-Diette, J., Kraft, J., Holton, C., Harden, M. and Simmonds, M. (2019) Imaging Tests for the Detection of Osteomyelitis: A Systematic Review. *Health Technology Assessment*, **23**, 1-128. <https://doi.org/10.3310/hta23610>
- [14] Woods, C.R., Bradley, J.S., Chatterjee, A., Copley, L.A., Robinson, J., Kronman, M.P., *et al.* (2021) Clinical Practice Guideline by the Pediatric Infectious Diseases Society and the Infectious Diseases Society of America: 2021 Guideline on Diagnosis and Management of Acute Hematogenous Osteomyelitis in Pediatrics. *Journal of the Pediatric Infectious Diseases Society*, **10**, 801-844. <https://doi.org/10.1093/jpids/piab027>
- [15] Krzysztowiak, A., Chiappini, E., Venturini, E., *et al.* (2021) Italian Consensus on the Therapeutic Management of Uncomplicated Acute Hematogenous Osteomyelitis in Children. *Italian Journal of Pediatrics*, **47**, Article 179.
- [16] Saavedra-Lozano, J., Falup-Pecurariu, O., Faust, S.N., Girschick, H., Hartwig, N., Kaplan, S., *et al.* (2017) Bone and Joint Infections. *Pediatric Infectious Disease Journal*, **36**, 788-799. <https://doi.org/10.1097/inf.0000000000001635>
- [17] Le Saux, N. (2018) Diagnosis and Management of Acute Osteoarticular Infections in Children. *Paediatrics & Child Health*, **23**, 336-343. <https://doi.org/10.1093/pch/pxy049>
- [18] Keren, R., Shah, S.S., Srivastava, R., Rangel, S., Bendel-Stenzel, M., Harik, N., *et al.* (2015) Comparative Effectiveness of Intravenous vs Oral Antibiotics for Postdischarge Treatment of Acute Osteomyelitis in Children. *JAMA Pediatrics*, **169**, 120-128. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2014.2822>
- [19] Sarkissian, E.J., Gans, I., Gunderson, M.A., Myers, S.H., Spiegel, D.A. and Flynn, J.M. (2016) Community-Acquired Methicillin-Resistant *Staphylococcus Aureus* Musculoskeletal Infections: Emerging Trends Over the Past Decade. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, **36**, 323-327. <https://doi.org/10.1097/bpo.0000000000000439>
- [20] Riise, Ø.R., Kirkhus, E., Handeland, K.S., Flatø, B., Reiseter, T., Cvancarova, M., *et al.* (2008) Childhood Osteomyelitis-

- Incidence and Differentiation from Other Acute Onset Musculoskeletal Features in a Population-Based Study. *BMC Pediatrics*, **8**, Article No. 45. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-8-45>
- [21] Iliadis, A.D. and Ramachandran, M. (2017) Paediatric Bone and Joint Infection. *EFORT Open Reviews*, **2**, 7-12. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.2.160027>
- [22] Kim, J., Lee, M.U. and Kim, T. (2019) Nationwide Epidemiologic Study for Pediatric Osteomyelitis and Septic Arthritis in South Korea: A Cross-Sectional Study of National Health Insurance Review and Assessment Service. *Medicine*, **98**, e15355. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000015355>
- [23] Safdieh, G., Silberman, J., Nguyen, J., Doyle, S.M., Blanco, J.S., Scher, D.M., et al. (2019) Pediatric Septic Arthritis and Osteomyelitis in the USA: A National KID Database Analysis. *HSS Journal: The Musculoskeletal Journal of Hospital for Special Surgery*, **15**, 159-166. <https://doi.org/10.1007/s11420-018-9644-2>
- [24] Ceroni, D., Belaieff, W., Cherkaoui, A., Lascombes, P., Schrenzel, J., de Coulon, G., et al. (2014) Primary Epiphyseal or Apophyseal Subacute Osteomyelitis in the Pediatric Population. *Journal of Bone and Joint Surgery*, **96**, 1570-1575. <https://doi.org/10.2106/jbjs.m.00791>
- [25] Erkilinc, M., Gilmore, A., Weber, M. and Mistovich, R.J. (2021) Current Concepts in Pediatric Septic Arthritis. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, **29**, 196-206. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-20-00835>
- [26] Peltola, H. and Pääkkönen, M. (2014) Acute Osteomyelitis in Children. *New England Journal of Medicine*, **370**, 352-360. <https://doi.org/10.1056/nejmra1213956>
- [27] Kao, C.M., Yee, M.E., Maillis, A., Lai, K., Bakshi, N., Rostad, B.S., et al. (2020) Microbiology and Radiographic Features of Osteomyelitis in Children and Adolescents with Sickle Cell Disease. *Pediatric Blood & Cancer*, **67**, e28517. <https://doi.org/10.1002/pbc.28517>
- [28] Chase McNeil, J. (2020) Acute Hematogenous Osteomyelitis in Children: Clinical Presentation and Management. *Infection and Drug Resistance*, **13**, 4459-4473. <https://doi.org/10.2147/idr.s257517>
- [29] Shah, M.M., Gupta, G., Makadia, A.S. and Rabbi, Q. (2020) Primary Epiphyseal Osteomyelitis (PEO) in 18 Children: A Rare Entity with Atypical Features. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, **40**, 361-366. <https://doi.org/10.1097/bpo.0000000000001551>
- [30] Jia, H. and Liu, T. (2025) Clinical Characteristics of Acute Epiphyseal Osteomyelitis and Acute Metaphyseal Osteomyelitis of Long Bones in Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*, **34**, 285-287. <https://doi.org/10.1097/bpb.0000000000001235>
- [31] Restrepo, R., Park, H.J., Karakas, S.P., Cervantes, L.F., Rodriguez-Ruiz, F.G., Zahrah, A.M., et al. (2024) Bacterial Osteomyelitis in Pediatric Patients: A Comprehensive Review. *Skeletal Radiology*, **53**, 2195-2210. <https://doi.org/10.1007/s00256-024-04639-x>
- [32] DeMarco, G., Chargui, M., Coulin, B., Borner, B., Steiger, C., Dayer, R., et al. (2021) Kingella Kingae Osteoarticular Infections Approached through the Prism of the Pediatric Orthopedist. *Microorganisms*, **10**, Article 25. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010025>
- [33] Ingersoll, J., Halliday, M., Adams, D.J., Auten, J.D. and Morrison Ponce, D. (2019) Inflammatory Markers Limitations in the Diagnosis of Pediatric Calcaneal Osteomyelitis. *The American Journal of Emergency Medicine*, **37**, 2119.e3-2119.e5. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.158416>
- [34] Qi, H., Zhu, Z. and Zhu, D. (2023) Erythrocyte Sedimentation Rate for Assisted Diagnosis of Pediatric Osteomyelitis: A Meta-Analysis. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, **19**, 1039-1049. <https://doi.org/10.2147/tcrm.s440996>
- [35] Xia, Y., Kang, Q., Gao, Y. and Su, J. (2024) A Transformer-Based Deep Learning Model for Identifying the Occurrence of Acute Hematogenous Osteomyelitis and Predicting Blood Culture Results. *Frontiers in Microbiology*, **15**, Article 1495709. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1495709>
- [36] Udaondo, C., Alcobendas Rueda, R.M., Diaz-Delgado, B., Remesal, A., Quiles-Melero, I. and Calvo, C. (2024) Clinical Utility of a Multiplex PCR Panel (Biofire Joint Infection®) in the Adjustment of Empiric Antimicrobial Therapy: Experience in Pediatric Osteoarticular Infections. *Children*, **11**, Article 1236. <https://doi.org/10.3390/children11101236>
- [37] Xiao, J., Pu, C., Zhou, X., Zhang, X., Zhang, S., Yang, P., et al. (2026) Solving the Diagnostic Dilemma in Bone Infections: Metagenomic Next Generation Sequencing Enhances Pathogen Identification Accuracy. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article 1699607. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1699607>
- [38] van Schuppen, J., van Doorn, M.M.A.C. and van Rijn, R.R. (2012) Childhood Osteomyelitis: Imaging Characteristics. *Insights into Imaging*, **3**, 519-533. <https://doi.org/10.1007/s13244-012-0186-8>
- [39] Hosokawa, T., Deguchi, K., Takei, H., Sato, Y., Tanami, Y. and Oguma, E. (2024) Ultrasonography for the Detection of Osteomyelitis in Pediatric Patients with Soft Tissue Infection. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **43**, 1223-1234. <https://doi.org/10.1002/jum.16446>
- [40] Pierce, J.L., Perry, M.T., Wessell, D.E., Lenchik, L., Ahlawat, S., Baker, J.C., et al. (2022) ACR Appropriateness

-
- Criteria® Suspected Osteomyelitis, Septic Arthritis, or Soft Tissue Infection (Excluding Spine and Diabetic Foot): 2022 Update. *Journal of the American College of Radiology*, **19**, S473-S487. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2022.09.013>
- [41] Pugmire, B.S. (2014) Role of MRI in the Diagnosis and Treatment of Osteomyelitis in Pediatric Patients. *World Journal of Radiology*, **6**, 530-537. <https://doi.org/10.4329/wjr.v6.i8.530>
- [42] Lorrot, M., Gillet, Y., Basmaci, R., Bréhin, C., Dommergues, M., Favier, M., *et al.* (2023) Antibiotic Therapy for Osteoarticular Infections in 2023: Proposals from the Pediatric Infectious Pathology Group (GPIP). *Infectious Diseases Now*, **53**, Article 104789. <https://doi.org/10.1016/j.idnow.2023.104789>
- [43] Olson, J., Hamdy, R.F., Hsu, A.J., Tamma, P.D., Gerber, J.S., Fino, N.F., *et al.* (2025) Association of Antibiotic Route and Outcomes in Children with Methicillin-Resistant *Staphylococcus Aureus* Bacteremic Osteomyelitis. *Infectious Diseases and Therapy*, **14**, 81-90. <https://doi.org/10.1007/s40121-024-01074-2>
- [44] Ekunseitan, E., Sabatini, C.S. and Swarup, I. (2023) Surgical Debridement for Acute and Chronic Osteomyelitis in Children. *JBJS Essential Surgical Techniques*, **13**, e21.00039. <https://doi.org/10.2106/jbjs.st.21.00039>
- [45] Thakolkaran, N. and Shetty, A.K. (2019) Acute Hematogenous Osteomyelitis in Children. *Ochsner Journal*, **19**, 116-122. <https://doi.org/10.31486/toj.18.0138>