

• 综 述 •

# POCT 技术在高海拔地区感染性疾病检测中的应用前景\*

李生梅<sup>1</sup>, 曹春花<sup>2</sup>, 程 鹏<sup>2</sup>综述, 阿祥仁<sup>2</sup>审校

1. 青海红十字医院检验科, 青海西宁 810000; 2. 青海省人民医院医学检验科, 青海西宁 810007

**摘 要:**即时检测(POCT)具有操作简单、价格低廉、检测快速、不需要固定的检测场地、可在患者旁开展、对于操作人员和检测条件适用性较高等特点;近年来该技术在医疗领域的应用较广,也体现了一定的临床价值,比如它可以用于疾病的筛查、诊断、治疗监测与预后评估等。高海拔地区由于特殊的地理、气候和人文环境,感染性疾病的发生、传播与流行往往有其特殊性。而快速、准确地检测感染性疾病不仅是公共卫生安全体系的重要组成部分,对于预防与控制传染病的暴发流行也至关重要。该文对高海拔地区感染性疾病的特点及检测中 POCT 技术的应用展开了探讨。

**关键词:**即时检测; 高海拔地区; 感染性疾病检测

**DOI:**10.3969/j.issn.1673-4130.2025.17.019

**中图法分类号:**R446

**文章编号:**1673-4130(2025)17-2153-06

**文献标志码:**A

## Application prospects of POCT technology in the detection of infectious diseases in high-altitude areas\*

LI Shengmei<sup>1</sup>, CAO Chunhua<sup>2</sup>, CHENG Peng<sup>2</sup>, A Xiangren<sup>2</sup>

1. Department of Clinical Laboratory, Qinghai Red Cross Hospital, Xining, Qinghai 810000, China; 2. Department of Medical Laboratory, Qinghai Provincial People's Hospital, Xining, Qinghai 810007, China

**Abstract:** Point-of-care testing (POCT) has the characteristics of simple operation, low price, rapid detection, no need for a fixed testing site, can be carried out next to the patient, and high applicability to operators and testing conditions. In recent years, POCT technology has been widely used in the medical field and has demonstrated certain clinical value, such as its application in disease screening, diagnosis, treatment monitoring, and prognosis evaluation. The occurrence, spread and prevalence of infectious diseases in high-altitude areas often have its particularity due to the special geographical, climatic and humanistic environment. Rapid and accurate detection of infectious diseases is not only an important part of the public health security system, but also crucial to the prevention and control of infectious disease outbreaks. This article discusses the characteristics of infectious diseases in high-altitude areas and the application of POCT technology in detection.

**Key words:** point-of-care testing; high-altitude areas; infectious disease

即时检测(POCT)是一种可以在床旁进行实时检测,为疾病诊断和治疗提供有益帮助的检测方法,它的操作者可以是医生、护士,甚至可以是患者本人。快速的现场检测避免了标本采集、送检、前处理等诸多流程,缩短了标本周转时间(TAT),有效提高了发现和诊断疾病的效率,可以实现一些感染性疾病的早诊断、早治疗及早预防,使药物早期可以得到精准、合理地使用,从而达到感染性疾病的早期防治目标。而高海拔地区地域辽阔,感染性疾病的种类多、诊治难、

病情重,所以控制感染性疾病的发生发展尤为重要。而 POCT 技术凭借其便捷、快速、灵敏等特点,在医疗资源有限的高海拔地区感染性疾病的检测领域展现出巨大的应用潜力,是辅助诊断的有效检测方法。

### 1 POCT 技术

**1.1 POCT 的定义** POCT 是在采样后即刻进行分析,快速得到检测结果的一类方法,1995 年由美国临床实验室标准化委员会(NCCLS)发表提出<sup>[1]</sup>,其具有简便、快速、微小、智能、便携、灵敏等优点,且价格低

\* 基金项目:青海省昆仑英才·高端创新创业人才项目—领军人才。

△ 通信作者, E-mail: xiangrena\_001@163.com。

廉,可满足各级各类医疗机构的临床检验需求<sup>[2-4]</sup>。POCT 也是一门在检测分析领域和临床应用方面快速发展的实验医学学科,是传统实验室检测方法的有力补充。

**1.2 POCT 的技术原理及临床应用** POCT 的技术原理包括干化学法、胶体金免疫层析法、生物传感器法、免疫荧光法、微流控芯片法、化学发光法、生物芯片法等。

**1.2.1 干化学法** 干化学法是通过将多种反应试剂固定在纸片上,使被测样品中的成分与固化于载体上的干试剂进行反应,通过颜色变化来定性或半定量地分析样品<sup>[5]</sup>;比如尿液的干化学法分析,尿液中的化学成分可使试纸条上的多模块发生颜色变化,而颜色深浅与尿液中相应物质的浓度成正比,可快速得出检测结果。

**1.2.2 胶体金免疫层析法** 胶体金免疫层析法是基于抗原与抗体特异性结合的原理来检测样品中的特定成分,可用于定性检测人血清中的人类免疫缺陷病毒抗体、丙型肝炎病毒抗体、梅毒螺旋体抗体、乙型肝炎病毒表面抗原,可快速实现传染病的风险评估<sup>[6-7]</sup>。

**1.2.3 生物传感器法** 生物传感器法是一种利用生物分子(如蛋白质、核酸)或生物体(如细胞、组织)作为传感器,通过检测其与目标分子之间的相互作用来实现信号转换和检测分析的技术<sup>[8]</sup>,临床上被广泛用于快速检测血糖、血压、体温等生命体征。

**1.2.4 其他前沿的 POCT 方法** 等温扩增技术是在恒温条件下进行扩增的一类新型核酸扩增技术,可实现提取、扩增、检测一体化的同时具有简单、便携、快速、准确的特性,其将 POCT 技术和分子生物学技术相结合,目前被用于病原微生物的检测和基因分析等<sup>[9]</sup>。成簇规律间隔短回文重复序列-CRISPR 相关蛋白(CRISPR-Cas)系统具有强大的基因编辑能力,它的反式切割活性已被广泛应用于 POCT 领域<sup>[10]</sup>。此外,质谱技术、人工智能技术等与 POCT 的结合,在未来均具有很好的应用前景。

**2 POCT 技术在感染性疾病诊断中的应用**

POCT 作为一种快速检测手段在感染性疾病诊断领域具有很高的实用价值,可以在最短时间内为初步诊治提供有用的信息。感染性疾病的快速检测试剂盒可用于多种病原体包括细菌、病毒、真菌、原虫等的检测<sup>[11-12]</sup>。POCT 因具备实验室仪器微小化、操作方法简便化和结果报告即时化的特点,在感染性疾病诊断方面具有诸多优势<sup>[7]</sup>;世界卫生组织推荐将 POCT 技术用于疟疾、艾滋病、梅毒等全球传染病防控<sup>[13]</sup>,可以有效进行疾病的管理,改善患者的预后。

例如,新型冠状病毒感染(COVID-19)由新型冠状病毒(SARS-CoV-2)引起,其诊断“金标准”为逆转录-聚合酶链反应(RT-PCR)检测病毒核酸,而 SARS-CoV-2 POCT 的出现让常规 PCR 检测实现了质的飞跃,在各级医疗机构中迅速开展,大大提高了医疗效率<sup>[14-15]</sup>;此外,抗原检测的初筛性 POCT,可以直接检测呼吸道分泌物中复制病毒产生的 SARS-CoV-2 蛋白,结果判定可在十几分钟内完成,其对社区、院前及急诊均有着实际的应用价值<sup>[14-15]</sup>。POCT 技术发挥了其显著的优势,通过对 SARS-CoV-2 抗原、抗体、核酸等的快速检测,有力地推动了疫情的有效防控。另外,POCT 技术可以快速准确地确定病原体,对于虫媒传染病的防控也具有重要作用,在虫媒传染病的实验室诊断中被广泛应用,提高了诊断效率和准确性<sup>[16]</sup>。

临床应用较广的 POCT 传染病检测还包括甲型流感病毒、乙型流感病毒、副流感病毒、呼吸道合胞病毒、腺病毒、人偏肺病毒、人鼻病毒等病毒感染<sup>[17]</sup>;POCT 抗体检测还包括人类免疫缺陷病毒抗体、梅毒螺旋体抗体、乙型肝炎五项、丙型肝炎抗体等。在感染性疾病诊断中,POCT 通过缩短检测时间而达到检测的时效性和便利性,从而促进快速诊疗、疾病预防和健康管理,同时也极大地提升了医疗实践的质量<sup>[18]</sup>。及时、准确的检测数据是感染性疾病防治的基础,可以有效防止传染病的暴发流行,是提高监测和预警的有力手段<sup>[19]</sup>。

**3 高海拔地区感染性疾病的特点及检测需求**

随着经济的快速发展,全国很多感染性疾病的防治取得了显著的成效。但高海拔地区由于其特殊的地理环境、饮食结构、人口分布及气候条件导致传染病的发生率相对较高,传播比较迅速,控制难度大,从而限制了当地人民健康水平的提升和生活质量的改善。

**3.1 高海拔地区感染性疾病的特点**

**3.1.1 地方性感染性疾病的流行特点** 高海拔地区尤其在牧区或半农半牧区,自然环境恶劣、经济条件落后、专业的卫生防疫人员匮乏、疾病的临床诊疗技术落后等影响因素长期存在,导致一些人畜共患的地方病、传染病持续流行<sup>[20-21]</sup>;比如包虫病是一种由包虫(棘球绦虫的幼虫)所致的人兽共患寄生虫病,在高海拔地区尤其在青海和西藏地区均为高发传染病,并且性别、民族、职业和区域均是风险因素<sup>[22-23]</sup>。一项关于包虫病在青海玉树州和果洛州的流行病学调查显示,泡型包虫病在当地的发病率可达 0.7%,30 岁以下的感染患者占比高达 60%<sup>[24]</sup>。布鲁氏菌病是由

布鲁氏菌属(一种革兰阴性兼性细胞内球杆菌)引起的人畜共患疾病,是高海拔地区严重危害公共卫生问题和造成重大农业经济损失的疾病<sup>[22]</sup>。另外,高海拔地区由于自然生态的完整性较好,为鼠疫的繁衍、传播和流行创造了良好的自然条件,青藏高原也是我国最大的鼠疫疫源地<sup>[25]</sup>。

**3.1.2 急性感染性疾病的流行特点** 目前,世界上新发突发的感染性疾病越来越多,如蔓延全球的 SARS-CoV-2、流感、猴痘、埃博拉病毒感染等。而高海拔地区低氧、低压的环境会使机体的防御机制发生变化,轻微或无症状的上呼吸道感染容易引发高原肺水肿,呼吸道病原体的快速检测可以帮助确定其在疾病风险中的作用和与疾病严重程度的关联<sup>[26]</sup>。急性感染性疾病在高海拔地区的主要特点是病情重、发展快速;病毒性感染如流感和其他呼吸道病毒性感染,在高海拔地区也可能因空气稀薄而导致患者症状更加明显<sup>[27]</sup>。其他饮食、饮水、卫生等问题引发的肠道感染在高海拔地区也较为常见,如腹泻、腹痛和发热等。

**3.1.3 慢性感染性疾病的流行特点** 目前全球慢性乙型肝炎病毒(HBV)感染者有 2.96 亿,每年有近 90 万人死于 HBV 感染<sup>[28]</sup>。

乙型肝炎不仅仅是一个影响全球的健康问题,在高海拔地区,空气干燥,降雨量少,人们的经济文化水平相对落后,对于疾病的防控意识差,导致乙型肝炎患者较多;LIU 等<sup>[29]</sup>研究发现,高海拔地区 HBV 感染率超过 10.0%,远高于中国其他地区,这些 HBV 携带者患肝硬化(LC)和肝细胞癌(HCC)的风险也随之增加。秦毅等<sup>[30]</sup>的研究也提出,目前病毒性肝炎和肺结核是西藏和青海地区主要传染病,两种传染病在西藏地区占比分别为 28.1%和 46.5%,在青海地区占比分别为 46.1%、32.4%<sup>[31]</sup>,其他相关研究也表明,病毒性肝炎是目前青海地区患病率最高的乙类传染病。肝炎主要传播途径是饮食和血液,由病毒、药物、乙醇及自身免疫等多种因素导致,此外,其患病率与种族、海拔和年龄也呈现一定的关系<sup>[32]</sup>。

另外,一项关于全国肺结核发病地区分布的研究显示,肺结核是目前西部地区患病率最高的乙类传染病,达到 87.35/100 000,其中西藏地区患病率最高<sup>[30,33]</sup>。肺结核主要通过飞沫传播,但也与生存环境息息相关,生活在低氧、寒冷、干燥的环境或长期暴露于大量粉尘的人群患病率会显著增加。流行特征显示,患病率易受到海拔、种族、年龄、疫苗接种率等因素的影响,高原地区肺结核发病率为平原地区的 5~10 倍,且治愈率较低,仅为 58.3%,而平原地区治愈

率为 94.8%,其中海拔 3 000~4 000 m 地区结核病最为严重<sup>[30,34]</sup>。

近年来,随着互联网的大力发展,人们获取信息和交友的方式变得灵活和快速,再加上旅游业的发展人口大量流动,高海拔地区艾滋病、梅毒患者的数量也在不断增加;艾滋病是目前我国病死率最高的乙类传染病,近年来全国艾滋病、梅毒患病率不断上升,截至 2022 年底,全球现存活艾滋病患者 3 900 万例,当年新发人类免疫缺陷病毒感染 130 万例<sup>[35]</sup>;2010—2023 年全国梅毒报告发病率由 26.86/100 000 上升至 37.60/100 000,年均升高 1.82%,梅毒发病率较高的地区主要是新疆、青海等西北地区和贵州、四川、云南等西南地区<sup>[36]</sup>。所以,高海拔地区也是艾滋病、梅毒的高发地。

**3.2 高海拔地区感染性疾病的检测需求** 不同的自然环境如低氧、低温、干燥和紫外线辐射量的差异,会改变病毒在不同媒介中的活性<sup>[37]</sup>,而高海拔地区往往有利于流感病毒的传播,会导致呼吸道、肠道传染病的发生率升高。MEWIS 等<sup>[38]</sup>研究发现,高海拔地区的病原体和低海拔地区的病原体相同,但多种因素如免疫调节、缺氧、生理适应和恶劣环境可能会导致机体对这些病原体易感。高海拔地区通常位置偏远,地广人稀,交通不便,人们对于传染病的防范意识薄弱,监测难度大,且医疗技术有限,因此,加强高原地区感染性疾病的检测、防治及预防公共卫生事件的发生显得十分重要。然而,POCT 由于其快速、便利、易操作等特点,非常适合医疗资源相对匮乏和传染病种多样的地区应用,快速地诊断与筛查可以提高当地的医疗质量和传染病的监测预警,也可大大减少疾病的传播<sup>[39]</sup>。

#### 4 POCT 技术在高海拔地区感染性疾病检测中的优势

在高海拔地区,由于基础设施不足、医疗资源紧张,医生对疾病的诊断和治疗难度大大增加。感染性疾病的诊断主要依赖于实验室检测,而实验室检测方法还要依赖各种大型精密仪器和专业的操作人员,耗时且成本高<sup>[40]</sup>。另外,实验室检测还受项目认可、试剂评审、经济效益等影响,诊断能力受限<sup>[41]</sup>。而 POCT 技术具有很多优势。首先,多种生物样本如尿液、血清和血浆都可以应用于 POCT 进行快速诊断,特别是在医疗资源有限的环境中<sup>[42]</sup>,比如酶联免疫电转移印迹法(EIBT)<sup>[43]</sup>可快速检测血清、尿液和囊肿液中的包虫抗体。其次,快速、精准的病原学检测是发现潜在传染源的有力支撑和提示,可以做到即时诊治和预防,对于感染性疾病的防控工作具有重大意



义<sup>[41,44]</sup>。常见的胶体金免疫层析法在高海拔地区的感染性疾病检测中应用特别广泛,它不需要高端的医疗设备和资深的专业技术人员,几分钟内就可以给出检测结果,是目前最有效的 POCT 手段。该技术可快速检测各种传染性疾病,有助于及时了解病情,帮助患者缓解焦虑,提高患者对诊疗的满意度。经验丰富的医生可以结合患者症状和快速检测的结果早期给予合适的诊治;如果是患者居家自测,不仅可以节约时间、避免复杂的就诊流程,还可以防止再发感染,减轻患者的医疗费用负担<sup>[45]</sup>。如很多人都选择居家进行 SARS-CoV-2 抗原检测,可以有效避免集中检测时的交叉感染,并且可以较早发现感染<sup>[42]</sup>。

5 POCT 技术在高海拔地区感染性疾病检测中面临的挑战

虽然 POCT 技术在高海拔地区传染病检测中有很大的应用前景,但也面临诸多挑战。

5.1 不规范的操作带来的挑战 POCT 存在一定的技术限制和操作复杂性,高海拔地区由于经济条件的限制,医疗技术人员短缺,因此在大多情况下操作不是由专门的实验室人员完成,可能影响其广泛推行和应用,需要专业的实验室人员进行培训和监督<sup>[16]</sup>。

5.2 不同试剂和设备间的结果差异带来的挑战 目前,POCT 试剂盒和设备种类很多,检测方法、样本类型及操作人员等因素的影响可能导致检测结果差异大,肉眼解读可能会造成假阴性和假阳性,这就需要对操作人员进行专业的培训,并制订详细的评判标准如指南、行业标准等来提高结果的准确性。

5.3 质量控制难度大带来的挑战 目前,很多 POCT 没有合适的质控品和校准物,导致质量把控不规范,评价准确性标准各异,从而使其检测的溯源性和可比性差,缺乏统一的标准。利用信息化手段可以建立一个系统、完善的质量控制体系。另外,相关部门可进行多个检测部门之间的样本比对,比如,POCT 的同一检测项目在不同设备之间进行平行比对或者 POCT 设备与中心实验室设备之间进行样本比对工作,有助于识别和纠正检测中存在的问题,提高结果的准确性,减小偏差,同时也可以提高患者对检测结果的信任度<sup>[40,46]</sup>。

5.4 管理困难带来的挑战 POCT 的应用已不仅仅局限于实验室,其在临床、基层医院、家庭等场合的应用也很广泛,但我国尚未出台针对 POCT 技术在感染性疾病诊断领域的相应法律法规和管理规范,现有的医学实验室管理规范和质量控制的要求不能完全涵盖这些场景<sup>[16]</sup>。目前,在实际应用过程中存在种种问题,如开展项目的种类越来越多,使用范围越来越广,

但缺乏统一管理,且操作者水平参差不齐,临床使用者普遍缺乏质量管理的知识和培训,设备维护保养不规范或缺,POCT 结果报告形式混乱等,均大大影响了医疗质量和安全<sup>[47]</sup>。

6 展 望

POCT 技术在高海拔地区感染性疾病的快速诊断中展现出明显优势,相较于传统检测方法,它操作更简便,一般不需要复杂的实验步骤,对于操作人员的要求也相对较低,无需资深专业人员实施,且能有效降低医疗成本,为当地居民提供便捷的医疗服务。POCT 技术在高海拔地区感染性疾病检测领域具有非常广泛的应用前景,可为高海拔地区居民带来实质性的医疗便利。未来仍需结合更多高海拔地区的影响因素,大力开发 POCT 技术,比如对于常见的高原红细胞增多患者,可建立微量血清模式的检测,还可以建立适合高海拔地区人群的参考区间,研发可同时快速检测多种病原微生物的试剂盒,建立智能化的传染病监测系统和针对高海拔地区生态环境的传染病预测预警系统等,都可以为高海拔地区感染性疾病的诊治提供优质的资源。与此同时,相关部门可以通过互联网技术、人工智能技术加强质量的监管与督导,不断完善标准化的 POCT 方法、管理指南、质量控制体系及标准化培训,让 POCT 技术在高海拔地区感染性疾病检测中更高效、更便捷、更普惠。

参考文献

[1] GOLDSMITH B M. New POCT (point-of-care testing) guide establishes testing uniformity[J]. MLO Med Lab Obs,1995,27(8):50-52.

[2] TRAN V,WALKENFORT B,KONIG M,et al. Rapid, quantitative, and ultrasensitive point-of-care testing: a portable sers reader for lateral flow assays in clinical chemistry[J]. Angew Chem Int Ed Engl, 2019, 58(2): 442-446.

[3] 刘芳,牛亚倩,常钰玲,等. 分子即时检验(POCT)在病毒性呼吸道感染疾病诊断中的应用前景[J]. 中国感染控制杂志,2021,20(3):279-282.

[4] 陈太菊,刘睿宁,张洪,等. 心血管疾病标志物微流控检测在早期预警与快速诊断中的应用[J]. 中华预防医学杂志,2023,57(7):1115-1123.

[5] 肖楠,周佳,段宁,等. 尿干化学和尿流式检测结果快速预测肾结石患者尿路细菌感染模型的建立与评价[J]. 检验医学,2021,36(1):75-79.

[6] 张竞,黄洁,平祥华. 胶体金法和化学发光法在艾滋病、梅毒、丙型肝炎检测中的应用效果[J]. 中国医药指南, 2024,22(25):24-26.

[7] 华文浩,盛琳君,王清涛. 感染性疾病诊断中 POCT 应用

- 的进展[J]. 中华检验医学杂志, 2019, 42(5): 333-337.
- [8] 国家急诊医学专业医疗质量控制中心, 北京市急诊质量控制和改进中心, 中国医师协会急诊医师分会, 等. 即时检测急诊临床应用专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2024, 33(1): 11-19.
- [9] 姜苏, 李一荣. 等温扩增技术的原理及应用[J]. 中华检验医学杂志, 2020, 43(5): 591-596.
- [10] 田原, 张向颖, 任锋. 规律成簇的间隔短回文重复序列及其相关蛋白系统在传染病病原体核酸检测中的应用[J]. 中华传染病杂志, 2021, 39(9): 579-582.
- [11] SHIMETANI N. Potential of next-generation POCT in infectious disease rapid test[J]. Med Mycol J, 2017, 58(3): 91-94.
- [12] 赵超, 李明珠, 安佳慧, 等. POCT 快速检测人乳头瘤病毒的方法在宫颈上皮内病变高危人群中的临床应用[J]. 中国妇产科临床杂志, 2024, 25(4): 303-307.
- [13] YOUNG N, ACHIENG F, DESAI M, et al. Integrated point-of-care testing (POCT) for HIV, syphilis, malaria and anaemia at antenatal facilities in western Kenya: a qualitative study exploring end-users' perspectives of appropriateness, acceptability and feasibility [J]. BMC Health Serv Res, 2019, 19(1): 74.
- [14] JOUNG J, LADHA A, SAITO M, et al. Point-of-care testing for COVID-19 using SHERLOCK diagnostics [EB/OL]. (2020-05-04) [2024-10-21]. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.05.04.20091231v1>.
- [15] DE MUNCK D G, PEETERS B, HUYGHE E, et al. Performance of the FRENDO COVID-19 IgG/IgM Duo point-of-care test for SARS-CoV-2 antibody detection[J]. Acta Clin Belg, 2022, 77(3): 647-652.
- [16] 陈禹希, 余方友. 即时检测与虫媒传染病的实验诊断: 应用与挑战[J]. 中华检验医学杂志, 2023, 46(2): 113-118.
- [17] 李疆帅. 核酸现场快速检测技术在重要病毒性传染病检测中的应用研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2021.
- [18] WANG Y, XU H, DONG Z, et al. Micro/nano biomedical devices for point-of-care diagnosis of infectious respiratory diseases [J]. Med Nov Technol Devices, 2022, 14: 100116.
- [19] 马宇航, 殷一, 王凯, 等. 传染病多阶段、多场景监测预警多样化方法体系的研究与思考[J]. 中华预防医学杂志, 2023, 57(10): 1529-1535.
- [20] 王艾冰, 高瑞瑞. 我国包虫病发病率居全球之首[N]. 健康时报, 2021-07-13(5).
- [21] AI S, ZHANG Z, WANG X, et al. The first survey and molecular identification of Entamoeba spp. in farm animals on Qinghai-Tibetan Plateau of China[J]. Comp Immunol Microbiol Infect Dis, 2021, 75: 101607.
- [22] XUE H, LI J, MA L, et al. Seroprevalence and molecular characterization of brucella abortus from the Himalayan Marmot in Qinghai, China[J]. Infect Drug Resist, 2023, 16: 7721-7734.
- [23] XIN S, SHI H, JIDE A, et al. Automatic lesion segmentation and classification of hepatic echinococcosis using a multiscale-feature convolutional neural network[J]. Med Biol Eng Comput, 2020, 58(3): 659-668.
- [24] HAN X, KIM J G, WANG H, et al. Survey of echinococcoses in southeastern Qinghai Province, China, and serodiagnostic insights of recombinant Echinococcus granulosus antigen B isoforms[J]. Parasit Vectors, 2019, 12(1): 323.
- [25] DAI R, QI M, XIONG H, et al. Serological epidemiological investigation of Tibetan sheep (ovis aries) plague in Qinghai, China[J]. Vector Borne Zoonotic Dis, 2019, 19(1): 3-7.
- [26] CHOUDHARY R, KUMARI S, ALI M, et al. Respiratory tract infection: an unfamiliar risk factor in high-altitude pulmonary edema [J]. Brief Funct Genomics, 2024, 23(1): 38-45.
- [27] 秦毅. 青藏高原主要疾病影响因素分析及人体健康风险评估[D]. 兰州: 西北师范大学, 2021.
- [28] 张思慧, 崔富强. 对慢性 HBV 感染者全部治疗策略的卫生经济学考量[J]. 中华肝脏病杂志, 2024, 32(5): 406-410.
- [29] LIU H, SHEN L, ZHANG S, et al. Complete genome analysis of hepatitis B virus in Qinghai-Tibet plateau: the geographical distribution, genetic diversity, and co-existence of HBsAg and anti-HBs antibodies [J]. Virol J, 2020, 17(1): 75.
- [30] 秦毅, 李倩倩, 苏贵金, 等. 青藏高原地区主要疾病流行特征及健康评价方法[J]. 环境化学, 2021, 40(6): 1668-1682.
- [31] 马秀英, 马金鹏, 杨永娟. 2017—2019 年青海高原地区乙肝人群流行特征[J]. 实用预防医学, 2021, 28(12): 1521-1523.
- [32] 赵海, 马晓华, 吕娜, 等. 西藏阿里地区人民医院就诊人群乙型肝炎病毒感染现状及其影响因素[J]. 中国感染控制杂志, 2019, 18(5): 410-415.
- [33] 宋媛媛, 李涛, 夏辉, 等. 1997—2023 年全国肺结核报告发病流行病学特征[J]. 中国防痨杂志, 2024, 46(10): 1198-1208.
- [34] HAN Z, GAO J, SHAHZAD M, et al. Seroprevalence of bovine tuberculosis infection in yaks (Bos grunniens) on the Qinghai-Tibetan Plateau of China [J]. Trop Anim Health Prod, 2013, 45(6): 1277-1279.
- [35] 中华医学会感染病学分会艾滋病学组, 中国疾病预防控制中心. 中国艾滋病诊疗指南(2024 版)[J]. 中华临床感染病杂志, 2024, 17(3): 161-190.
- [36] 陈泽伟, 梁诗晴, 岳晓丽, 等. 2010—2023 年中国梅毒流行趋势及时空分布特征[J]. 中华皮肤(下转第 2162 页)

• 综 述 •

# 宏基因组二代测序在骨关节感染中的研究进展\*

冯紫涵<sup>1</sup>综述, 庞 峰<sup>2△</sup>审校

1. 山东第二医科大学医学检验学院, 山东潍坊 261053; 2. 聊城市人民医院检验科, 山东聊城 252000

**摘 要:**骨关节感染(BJI)是术后严重的并发症,传统细菌培养技术作为其诊断“金标准”,存在诊断不及时或无法诊断的问题。宏基因组二代测序(mNGS)作为一种新兴技术,能无偏倚地检测样本中细菌、病毒、寄生虫、真菌等多种病原体,为 BJI 诊断提供了新途径。该文综述了 mNGS 在 BJI 中的应用进展,包括技术原理、优势、局限性及临床应用现状。mNGS 在人工关节感染(PJI)诊断中展现出高灵敏度和特异度,尤其在培养阴性病例中优势明显。此外,mNGS 还能优化传统培养方法,提高术中培养的灵敏度,并用于指导抗菌药物的选择。然而,mNGS 存在数据库更新慢、样本污染、成本高等局限性。未来需进一步研究以阐明其完整临床益处,并推动其在骨科领域的广泛应用。

**关键词:**宏基因组二代测序; 骨关节感染; 诊断

**DOI:**10.3969/j.issn.1673-4130.2025.17.020

**中图法分类号:**R-1

**文章编号:**1673-4130(2025)17-2158-05

**文献标志码:**A

## Advances in metagenomics next-generation sequencing in bone and joint infections\*

FENG Zihan<sup>1</sup>, PANG Feng<sup>2△</sup>

1. School of Medical Laboratory, Shandong Second Medical University, Weifang, Shandong 261053, China; 2. Department of Clinical Laboratory, Liaocheng People's Hospital, Liaocheng, Shandong 252000, China

**Abstract:** Bone and joint infections (BJI) are serious postoperative complications, and traditional bacterial culture techniques serve as the gold standard for diagnosis, but there are problems with untimely or undiagnosed diagnosis. Metagenomics next-generation sequencing (mNGS), as an emerging technology, can detect various pathogens such as bacteria, viruses, parasites, and fungi in samples without bias, providing a new approach for the diagnosis of BJI. This article reviews the application progress of mNGS in BJI, including technical principles, advantages, limitations, and clinical application status. mNGS exhibits high sensitivity and specificity in the diagnosis of prosthetic joint infections (PJI), and its advantages are obvious especially in cultivating negative cases. In addition, mNGS can optimize traditional culture methods, improve the sensitivity of intraoperative culture, and be used to guide antibiotic selection. However, mNGS has limitations such as slow database updates, sample contamination, and high costs. Further research is needed in the future to elucidate its complete clinical benefits and promote its widespread application in the field of orthopedics.

**Key words:** metagenomics next-generation sequencing; bone and joint infections; diagnosis

骨关节感染(BJI)包括原发性或继发性骨髓炎、化脓性关节炎和人工关节感染(PJI)。其中 PJI 是关节置换术后的危险并发症,影响了超过 2% 的关节置换术患者,而且这种风险随着时间的推移没有实质性变化<sup>[1]</sup>。随着关节置换术的广泛应用,PJI 的发病率也呈现上升趋势<sup>[2-3]</sup>。细菌培养是诊断 BJI 和指导抗菌药物治疗方案的“金标准”<sup>[4]</sup>。但是,在临床工作

中,部分患者即使存在化脓、窦道、炎症标志物水平升高或感染的组织病理学体征,其细菌培养结果仍为阴性<sup>[5-7]</sup>。随着医疗科技水平的提高,基因检测技术作为传统细菌培养的替代正在被越来越普遍地使用,包括聚合酶链反应(PCR)及其相关技术和二代测序(NGS),INDELLI 等<sup>[8]</sup>提到,PCR 的优势在于灵敏度更高,可以检测难培养的微生物,而且结果受抗菌药

\* 基金项目:山东省医药卫生科技发展计划项目(2019WS113)。

△ 通信作者, E-mail: pangfeng01@163.com。