

分子生物学技术在医学检验中的应用创新探索

吴志洋

联勤保障部队第九八八医院 河南郑州

【摘要】 分子生物学技术作为现代医学检验的重要支撑，正推动着疾病诊断、治疗及预防的精准化发展。本文从基因测序、基因芯片、生物传感器及纳米技术四个维度，系统分析其在医学检验中的创新应用。研究指出，这些技术通过提升检测灵敏度、特异性及效率，为临床提供了更精准的分子诊断工具。同时，技术的自动化与智能化发展，进一步优化了医学检验流程，为个性化医疗的实现奠定了基础。

【关键词】 分子生物学技术；基因测序；基因芯片；生物传感器；纳米技术

【收稿日期】 2025 年 6 月 20 日 **【出刊日期】** 2025 年 7 月 24 日 **【DOI】** 10.12208/j.ijcr.20250316

Innovative exploration of the application of molecular biology techniques in medical testing

Zhiyang Wu

Joint Logistics Support Force 988th Hospital, Zhengzhou, Henan

【Abstract】 Molecular biology techniques, as a crucial pillar of modern medical testing, are propelling the precise development of disease diagnosis, treatment, and prevention. This paper systematically analyzes the innovative applications of these techniques in medical testing from four dimensions: gene sequencing, gene chips, biosensors, and nanotechnology. Research indicates that these technologies enhance detection sensitivity, specificity, and efficiency, providing clinicians with more precise molecular diagnostic tools. Meanwhile, the automation and intelligent development of these technologies further optimize the medical testing process, laying the foundation for the realization of personalized medicine.

【Keywords】 Molecular biology techniques; Gene sequencing; Gene chips; Biosensors; Nanotechnology

1 引言

医学检验作为疾病诊断与治疗的关键环节，其精准性直接影响临床决策的科学性。随着分子生物学技术的突破，基于核酸、蛋白质等生物大分子的检测手段逐渐成为主流。这些技术通过解析生物分子的结构与功能，为疾病的早期诊断、预后评估及个性化治疗提供了分子层面的依据。当前，基因测序、基因芯片、生物传感器及纳米技术等领域的创新，正推动医学检验向更高精度、更广范围及更深层次发展。

2 基因测序技术的创新应用

2.1 高通量测序技术的临床转化

高通量测序技术（Next-Generation Sequencing, NGS）作为现代基因组学研究的核心工具，已广泛应用于医学检验领域。其核心优势在于能够实现大规模 DNA 片段的并行测序，从而显著提高测序效率与数据产出。在肿瘤诊断方面，NGS 通过多基因 panel 检测，可同时识别 EGFR、ALK、KRAS 等多个关键驱动基因

的突变状态，为非小细胞肺癌等恶性肿瘤的靶向治疗提供精准的分子依据。此外，在遗传病筛查中，NGS 技术突破了传统 Sanger 测序的局限，实现了对单基因遗传病和复杂综合征的高效诊断，尤其在罕见病致病基因定位方面具有不可替代的优势^[1]。例如，全外显子组测序（WES）已被用于大量未确诊遗传病的病因解析，大幅提高了诊断率。随着测序成本的下降与数据分析能力的提升，NGS 正逐步从科研平台走向临床一线，成为个性化医疗的重要支撑。

2.2 单分子测序技术的突破

单分子测序技术（如 PacBio SMRT 和 Oxford Nanopore 测序）通过直接读取 DNA 分子序列，无需依赖 PCR 扩增，有效避免了扩增偏倚，显著提升了测序准确性和长片段读长能力。这一特性使其在复杂基因组区域、重复序列以及表观遗传修饰的解析中展现出独特优势。在传染病防控领域，单分子测序可在短时间内完成未知病原体的全基因组组装，为疫情溯源、变异

监测及疫苗开发提供实时数据支持。例如，在新冠疫情期间，纳米孔测序技术被广泛用于病毒变异株的快速鉴定与全球传播路径分析。此外，该技术还可直接检测 DNA 甲基化等表观遗传信息，推动了疾病机制研究的深入发展，为癌症、神经退行性疾病等提供了新的诊疗视角^[2]。

2.3 液体活检技术的临床价值

液体活检作为一种无创或微创的生物标志物检测手段，正在迅速改变肿瘤和产前疾病的诊断模式。其主要检测对象包括循环肿瘤 DNA (ctDNA)、外泌体、循环肿瘤细胞 (CTCs) 等，这些生物标志物能够反映体内病变组织的动态变化。将液体活检与高通量测序结合，不仅提高了肿瘤早期筛查的灵敏度和特异性，还能实现实时疗效评估与复发监测。例如，结直肠癌患者可通过检测血清中 SEPTIN9 基因的甲基化状态进行早期筛查，显著提高依从性与检测效率。在产前诊断方面，基于母体血液中胎儿游离 DNA (cffDNA) 的无创产前检测 (NIPT) 已成为唐氏综合征等染色体异常筛查的标准方法，极大降低了羊水穿刺等侵入性操作带来的流产风险^[3]。

3 基因芯片技术的集成化发展

3.1 多组学芯片的协同分析

多组学芯片技术的发展，代表了现代分子生物学在疾病研究与诊断上的重要进展^[4]。通过将基因表达谱、基因组变异以及蛋白质相互作用等不同层面的信息集成于同一平台，实现了对生物系统复杂性的全面解析。这种综合分析方法不仅能够提供更丰富的生物学信息，还能揭示不同分子层次之间的相互关系。例如，在肿瘤研究中，利用多组学芯片可以同时检测多个基因的表达水平及突变状态，帮助识别肿瘤亚型及其预后风险^[5]。此外，结合生物信息学工具，可以从海量数据中挖掘出潜在的疾病标志物和治疗靶点。这些芯片技术的应用极大地促进了个性化医疗的发展，使得基于患者个体特征制定治疗方案成为可能。然而，如何有效整合并解读这些多层次的数据仍然是一个挑战。当前的研究正致力于开发更加高效的算法和软件工具，以提高数据分析的准确性和效率^[6]。

3.2 微流控芯片的自动化升级

微流控芯片技术作为分子生物学领域的一项创新，通过高度集成化的流体控制设计，实现了从样本处理到信号检测的全自动化流程。这不仅大大缩短了实验时间，提高了检测效率，还减少了人为操作带来的误差。特别是在病原体快速检测方面，基于微流控芯片的

PCR 系统可以在极短时间内完成核酸扩增与检测，显著提升了传染病应急响应的能力。此外，微流控技术在单细胞分析中的应用为深入理解肿瘤异质性提供了新的视角。由于肿瘤内部存在多种不同的细胞类型，传统的批量分析方法难以捕捉这些细微差异。而微流控芯片能够在单细胞分辨率下进行基因表达分析，有助于发现潜在的治疗靶点^[7]。

4 生物传感器的智能化革新

4.1 电化学传感器的灵敏度提升

电化学传感器因其高灵敏度、快速响应和低成本等优势，在医学检验中得到了广泛应用。其工作原理是通过将生物识别元件（如酶、抗体或核酸探针）与电极表面结合，利用目标分子与识别元件之间的特异性反应引发电信号变化，从而实现检测。近年来，纳米材料的引入显著提升了传感器的检测性能，例如金纳米粒子、石墨烯和碳纳米管等具有优异导电性和大比表面积的材料，可极大增强信号传导效率，使检测限降低至 fM（飞摩尔）级别，满足肿瘤标志物等低浓度生物分子的早期筛查需求。此外，多通道电化学传感器的设计实现了在同一平台上对多种生物标志物的同时检测，大幅提高了诊断效率与准确性^[8]。

4.2 光学传感器的多模态融合

光学传感器凭借其非接触式检测、高时空分辨率和可视化信号输出等优点，在生物分子分析中展现出广阔前景。该类传感器通常基于荧光、表面等离子体共振 (SPR)、拉曼散射或生物发光等原理，能够实时监测分子间的相互作用过程。例如，荧光共振能量转移 (FRET) 技术已被广泛应用于蛋白质-DNA、RNA-RNA 等分子间动态相互作用的研究，为基因表达调控机制的解析提供了重要工具。近年来，随着多模态融合技术的发展，光学传感器逐步整合了光谱分析、成像技术和多波长检测功能，使得单一系统可同时获取结构、功能及空间分布等多维度信息，显著提升了检测的深度与广度。这种集成化设计不仅增强了检测的特异性和灵敏度，也为复杂生物体系的深入研究提供了技术支持。

4.3 智能传感器的数据驱动优化

随着人工智能和物联网技术的快速发展，智能传感器正成为生物传感领域的重要发展方向。这类传感器通过嵌入机器学习算法，能够自动处理复杂的检测信号，提高数据判读的准确性和智能化水平。例如，基于深度学习的信号处理模型可以从大量噪声数据中提取出目标分子的特征信号，显著提升复杂样本中低浓

度生物标志物的识别能力。此外,智能传感器还可实现自适应校准、异常检测和结果预测等功能,大大减少了人工干预的需求,提高了检测系统的稳定性和可靠性。更重要的是,智能传感器与物联网平台的深度融合,使得远程健康监测成为现实。例如,可穿戴式生物传感器可以持续采集心率、血糖、乳酸等生理参数,并将数据实时上传至云端,供医生远程评估患者健康状态,实现个性化健康管理与疾病预警。

5 纳米技术的精准化探索

5.1 纳米探针的靶向递送

纳米探针通过表面修饰靶向配体,实现了对特定细胞或组织的精准识别。例如,金纳米颗粒表面修饰肿瘤特异性抗体后,可通过光热效应实现对肿瘤细胞的靶向杀伤。此外,纳米探针在药物递送中的应用,显著提高了化疗药物的疗效并降低了副作用。

5.2 纳米孔测序的单分子解析

纳米孔测序技术通过监测 DNA 分子通过纳米孔时的电流变化,实现了对单分子序列的实时读取。该技术在病原体快速鉴定中展现出高效性,例如,可在数小时内完成未知病原体的全基因组测序。此外,纳米孔测序在表观遗传学研究中的应用,为 DNA 甲基化模式的动态监测提供了新方法。

5.3 纳米材料的生物相容性优化

纳米材料的生物相容性是其临床应用的关键瓶颈。当前研究通过表面涂层、尺寸调控等策略,显著提高了纳米材料的生物安全性。例如,聚乙二醇修饰的纳米颗粒可延长体内循环时间并降低免疫原性。此外,纳米材料与生物大分子的复合设计,为多功能诊疗一体化平台的构建提供了新思路。

6 结语

综上所述,分子生物学技术的快速发展为医学检验带来了革命性的变革。基因测序、基因芯片、生物传感器及纳米技术等多维度创新,显著提升了疾病检测的精准性与效率,推动了临床诊断向个体化、智能化方向发展。这些技术不仅实现了对疾病从分子层面的深

入解析,还为早期诊断、靶向治疗及预后评估提供了科学依据。同时,随着自动化与信息化的不断融合,医学检验流程也变得更加高效便捷。未来,随着技术的持续优化与应用的不拓展,分子生物学将在精准医疗和公共卫生管理中发挥更为重要的作用,助力实现更高质量的健康保障体系。

参考文献

- [1] 关景元.医学检验专业分子生物学检验技术课程的教学策略[J].生物化工,2023,9(03):127-130.
- [2] 李孟麒.分子生物学技术在医学检验中的应用有哪些[J].幸福家庭,2020,(12):124.
- [3] [3]宗璐,徐元宏.文献研读在医学检验专业研究生流式细胞术教学中的应用[J].安徽医学学报,2025,24(02):92-94.
- [4] 赵德明,袁静波,林思思,等.医学检验技术本科实习生参与 ISO15189 认可实验室风险管理的探讨[J].黑龙江医药科学,2025,48(04):73-77.
- [5] 边叶景.前沿医学检验技术为健康精准导航[N].甘肃科技报,2025-03-31(008).
- [6] 晏丽,李敏艳,张可跃,等.基于核心素养的高职医学检验技术专业劳动教育评价体系建设[J].教师,2025,(10):5-7.
- [7] 王彩霞,陈海珍,张俊.PDCA 循环管理在医院医学检验质量管理中的应用效果[J].中国卫生产业,2025,22(04):58-61.
- [8] 于聪.血液细胞检验质量控制在临床医学检验中的应用[C]//重庆市健康促进与健康教育学会.临床医学健康与传播学术研讨会论文集(第二册).驻马店市西平县人民医院,2025:506-509.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS