

DOI:10.13350/j.cjpb.250327

• 综述 •

人工智能辅助新技术在宫颈癌筛查中的新进展

蒋圣露*,高霏

(张家口学院医学院,河北张家口 075000)

【摘要】 本文围绕宫颈癌的发病机制、筛查重要性及方法、人工智能在宫颈癌筛查中的应用展开。阐述了宫颈癌发病机制中 HPV 感染的关键作用及遗传因素影响,介绍了宫颈癌筛查对降低发病率和死亡率的重要性以及细胞学检查、HPV 检测等常用筛查方法,还探讨了人工智能在宫颈癌筛查中的技术概述、优势、辅助筛查技术及应用实例,同时指出了人工智能技术面临的数据隐私与安全、决策透明度和可解释性等挑战与伦理问题。

【关键词】 人工智能;宫颈癌;人乳头瘤病毒;综述

【文献标识码】 A

【文章编号】 1673-5234(2025)03-0401-04

[*Journal of Pathogen Biology*. 2025 Mar.;20(03):401-404.]

New progress of artificial intelligence-assisted new technology in cervical cancer screening

JIANG Shenglu, GAO Fei (*Zhangjiakou University Medical College, Zhangjiakou 075000, Hebei, China*)

【Abstract】 This article focuses on the pathogenesis of cervical cancer, the importance and methods of screening, and the application of artificial intelligence in cervical cancer screening. It elaborates on the key role of HPV infection and the influence of genetic factors in the pathogenesis of cervical cancer, introduces the importance of cervical cancer screening in reducing morbidity and mortality, and common screening methods such as cytology examination and HPV detection. It also discusses the technical overview, advantages, assisted screening technologies and application examples of artificial intelligence in cervical cancer screening. At the same time, it points out the challenges and ethical issues such as data privacy and security, decision-making transparency and interpretability faced by artificial intelligence technology.

【Keywords】 artificial intelligence; cervical cancer; human papillomavirus; review

***宫颈癌作为全球女性第四大常见癌症,严重威胁着女性健康。其临床表现多样,早期诊断至关重要。了解宫颈癌的发病机制、重视筛查方法以及探索新兴技术在筛查中的应用,对于提高宫颈癌的防治水平具有重大意义。本文将深入分析宫颈癌的发病机制,探讨宫颈癌筛查的重要性和常用方法,并研究人工智能在宫颈癌筛查中的应用及面临的挑战。

1 宫颈癌发病机制

宫颈癌是一种起源于子宫颈的恶性肿瘤,流行病学数据显示,宫颈癌在全球范围内是女性第四大常见癌症,每年约有 50 万新发病例^[1]。宫颈癌的临床表现多样,早期可能无明显症状,随着病情进展,患者可能出现异常阴道出血、分泌物增多、性交后出血等症状。根据美国癌症协会的数据,约 70% 的宫颈癌患者在诊断时已处于局部晚期或更晚期。因此,早期诊断对于提高生存率至关重要。

1.1 人乳头瘤病毒(HPV)感染与宫颈癌 人乳头瘤病毒(HPV)感染是宫颈癌发病机制中的关键因素,据世界卫生组织(WHO)统计,几乎所有的宫颈癌病例都与 HPV 感染有关。HPV 是一组能够感染人类皮肤和粘膜细胞的病毒,其定义与分类在医学研究和公共卫生领域具有重要意义。HPV 病毒家族包含超过 200 种不同的类型,其中约 40 种能够感染生殖道^[2]。根据病毒导致疾病的严重程度,HPV 被分为低危型和高危型。低危型 HPV 通常与生殖器疣相关,而高危型 HPV 则与宫颈癌及其他生殖器癌症的发生密切相关。研究显示,HPV 16 和 HPV 18 这两种病毒型别在宫颈癌病例中占到了

70% 以上^[3]。

HPV 的基因组可以被划分为三个主要区域:早期(E)区、晚期(L)区以及常对照区。这些区域各自承担着不同的功能,共同确保病毒的复制和传播。早期区主要负责编码病毒复制过程中所需的蛋白质,包括 E1~E7 等关键蛋白。晚期区则主要编码病毒粒子组装所需的结构蛋白,如 L1 和 L2^[4]。除此之外,还有一部分非编码区域,负责其他未知的功能。在早期区中,E1 和 E2 蛋白扮演着转录激活剂的角色,它们负责启动病毒 DNA 的复制过程。E5 蛋白则具有诱导免疫反应逃避的能力,它能够减轻细胞对生长因子的依赖性,并且增强细胞的增殖能力。E6 蛋白与细胞内的肿瘤抑制蛋白 p53 结合,导致 p53 蛋白的降解,从而破坏了细胞的正常生长调控机制^[5]。E7 蛋白则与视网膜母细胞瘤蛋白(pRb)形成复合物,并通过泛素-蛋白酶体途径降解 pRb,进一步干扰细胞周期的正常调控。

随着病毒生命周期的推进,晚期基因在基底层细胞中得到表达,启动环状病毒基因组的复制,并形成结构蛋白。当病毒颗粒到达表皮或黏膜的上层时,完整的病毒颗粒被组装并最终释放出来。病毒衣壳蛋白 L1 和 L2 在细胞分化过程中表达,以确保病毒后代在细胞内的组装。当感染细胞进入上层时,E4

* **【基金项目】** 张家口学院校级课题(No. 2025016)。

** **【通信作者(简介)】** 蒋圣露(1988-),女,河北石家庄人,硕士,讲师,研究方向:基础医学教学;间充质干细胞的应用。
E-mail:837211795@qq.com

蛋白也开始表达,以完成病毒生命周期的最后阶段^[6]。

此外,HPV 还通过改变多个基因的表达并激活多种信号通路,包括生长因子介导的受体通路、Notch 通路、RAS 通路以及 PI3K/Akt/mTOR 通路等,从而刺激宿主细胞的存活和增殖,这些改变最终可能导致癌症的发生。这是由于病毒通过这些机制绕过了细胞的正常生长控,促进了细胞的异常增殖和存活。因此,了解 HPV 感染与宫颈癌之间的关系,对于制定有效的预防策略至关重要。

1.2 遗传因素在宫颈癌发病中的作用 宫颈癌的发病机制复杂,其中遗传因素在其中扮演着不可忽视的角色。家族史是宫颈癌的一个重要风险因素,有宫颈癌家族史的女性患病风险显著增加。有宫颈癌家族史的女性患宫颈癌的风险是无家族史女性的 2~3 倍。遗传易感性可能与特定基因的变异有关,如人类白细胞抗原(HLA)复合体内的基因变异,这些基因在免疫监视中起着关键作用,其变异可能影响个体对 HPV 感染的清除能力,从而增加宫颈癌的发病风险。某些 DNA 修复基因的多态性也被发现与宫颈癌的易感性相关。XRCC1 基因的某些等位基因变异与 DNA 修复能力下降有关,这可能导致 HPV 诱导的 DNA 损伤无法有效修复,进而增加宫颈癌的发病风险。因此,了解和识别这些遗传易感性因素对于宫颈癌的早期预防和干预具有重要意义。

除了遗传因素,环境因素、生活方式等也在宫颈癌发病中起到一定作用。因此,国家卫生健康委倡导全面提高女性健康意识,加强健康教育,提倡健康生活方式,降低 HPV 感染风险。同时,我国将进一步加大对宫颈癌筛查和早诊早治的力度,提升公众对宫颈癌防治知识的知晓率,确保每一位适龄女性都能享受到宫颈癌筛查服务。

2 宫颈癌筛查的重要性和常用筛查方法

2.1 宫颈癌筛查的重要性 宫颈癌筛查是预防和早期发现宫颈癌的关键手段,对于降低宫颈癌的发病率和死亡率具有不可替代的作用。宫颈癌筛查能够有效地识别出癌前病变,为及时治疗提供可能,从而显著提高患者的生存率和生活质量。宫颈癌筛查还能识别出那些因遗传或环境因素而处于高风险的人群,使其能够接受更频繁的监测和适宜的干预措施,从而有效降低宫颈癌的发病率。由此可见,宫颈癌筛查通过早期识别癌前病变和早期癌症,可以显著提高治愈率,减少因疾病带来的经济负担和社会影响。

因此,普及宫颈癌筛查,提高筛查率,是我国宫颈癌防治工作的重中之重。美国癌症协会推荐,有性行为的女性应从 21 岁开始进行宫颈癌筛查,并根据个体的风险因素调整筛查频率和方法。此外,筛查策略的制定应考虑当地的社会经济条件和医疗资源,以确保筛查计划的可行性和有效性。我国在推进宫颈癌综合防治工作中,应不断优化筛查策略,扩大筛查范围,特别是对农村和边远地区妇女的关爱。

2.2 宫颈癌常用筛查方法

2.2.1 细胞学检查 细胞学检查是通过采集宫颈表面的细胞,观察细胞形态变化,以判断宫颈是否存在异常。其中,液基细胞学检测(TCT)检查作为宫颈癌筛查的重要手段,具有高准确性。它通过液基薄层细胞学检测技术,能更全面地收集宫颈细胞,降低因细胞样本不良造成的误诊率。根据相关科学研究和报道,TCT 技术相较于传统的细胞学方法,具有显著的优

势。具体来说,TCT 能够显著改善涂片的质量,使得涂片更加清晰和均匀,不仅有助于更快地读取载玻片上的细胞样本,而且还能有效减少涂片不足的情况,从而提高早期诊断和治疗的成功率^[7-8]。因此,TCT 技术在提高宫颈细胞学检测的准确性和效率方面具有重要的临床应用价值。

在解读 TCT 检查结果时,重要的是关注细胞学诊断部分,报告中的诊断结果从正常到鳞状细胞癌不等,每一项结果都对应着不同的临床意义和处理建议。因此,当 TCT 检查结果出现异常时,应遵循医生的专业指导,进行必要的进一步检查,如 HPV 检测、阴道镜检查或宫颈活检,以确保能够及时发现并处理可能存在的宫颈癌前病变。

2.2.2 HPV 检测 由于 HPV 感染与宫颈癌的密切相关性,HPV 检测成为了宫颈癌筛查的另一重要手段。通过检测宫颈细胞中是否存在高危型 HPV 病毒 DNA,可以评估女性感染 HPV 的情况,进一步判断其患宫颈癌的风险。在 TCT 检查结果异常时,HPV 检测能够提供更多关于宫颈健康状况的信息,帮助医生制定更为精准的治疗方案。KOLIOPOULOS 等^[9]通过进行一项荟萃分析发现,与传统的细胞学筛查方法相比,在初次筛查中,hrHPV 筛查能够发现更多的宫颈上皮内瘤变 3 级及以上(CIN3⁺)的阳性病例。多项研究结果表明,HPV 检测对于 CIN2⁺ 和 CIN3⁺ 病例具有较高的敏感性,漏诊率较低^[10]。然而,与细胞学检查相比,HPV 检测的假阳性率较高,需要进一步进行阴道镜检查。这种高假阳性率可能导致过度治疗的情况,因此,在临床实践中,需要权衡 HPV 检测的高敏感性和高假阳性率所带来的利弊,以制定最合适的筛查策略^[11]。与 HPV DNA 检测相比,HPV 信使核糖核酸(mRNA)检测可能更能准确地识别出具有临床意义的 HPV 感染人群。研究者们发现 HPV E6/E7 mRNA 检测在特异性方面表现更为优越^[12]。此外,HPV E6/E7 mRNA 检测还显示出比 HPV DNA 检测更高的阳性预测值^[13]。因此,HPV mRNA 检测在临床上可能更具诊断价值,能够更准确地指导临床决策和治疗方案的制定。这不仅有助于减少不必要的阴道镜检查 and 宫颈活检,而且能够优化医疗资源的使用,降低患者的心理和经济负担。因此,结合 TCT 与 HPV mRNA 检测的多阶段筛查模式,正逐渐成为宫颈癌早期诊断领域的发展趋势。联合筛查不仅提高了检测的灵敏度,降低了漏诊风险,还能有效减少不必要的阴道镜检查 and 过度治疗,为患者提供了更为精确的评估和合理的治疗方案。在此模式下,医生可根据两项检测结果的综合评估,对患者的健康状况作出更为精准判断。

3 人工智能在宫颈癌筛查中的应用研究

3.1 人工智能技术概述 人工智能(AI)是模拟人类智能过程的技术,它包括机器学习(ML)、深度学习(DL)、自然语言处理(NLP)等多个子领域。在医疗领域,AI 技术的应用已经取得了显著的进展,特别是在疾病诊断、治疗规划和患者监护等方面^[14-15]。根据麦肯锡全球研究院的报告,AI 在医疗领域的应用有望每年为美国医疗保健系统节省高达 1000 亿美元的成本。此外,IBM 的 Watson Oncology 通过分析大量的医学文献和患者数据,能够为医生提供个性化的治疗建议。这些应用展示了 AI 在提高医疗服务质量、降低医疗错误和增强患者体验方面的巨大潜力。然而,AI 技术在医疗领域的应用也面临着数据隐私、算法透明度和伦理问题等挑战,需要在技术进步的

同时,确保符合医疗伦理和法规要求。

在宫颈癌筛查中,AI的应用正逐步革新传统的诊断方法。机器学习算法能够从大量数据中学习并做出预测,例如,通过分析成千上万的宫颈细胞图像,机器学习模型可以识别出癌前病变的特征^[16]。深度学习,作为机器学习的一个分支,通过构建多层神经网络,能够处理更为复杂的图像识别任务,如自动识别 HPV 感染的细胞学图像^[17]。自然语言处理技术则可以用于分析临床报告,提取关键信息,辅助医生做出更准确的诊断。在宫颈癌筛查中,AI正朝着这一目标迈进,通过不断学习和优化,AI技术有望在不久的将来实现对宫颈癌的早期、准确诊断。

3.2 人工智能辅助宫颈癌筛查技术 在宫颈癌筛查领域,深度学习技术的应用在细胞学图像分析等方面已经取得了显著的进展。通过构建复杂的神经网络模型,如研究人员利用卷积神经网络(CNN)能够自动识别和分类宫颈细胞涂片中的异常细胞。一项研究利用深度学习算法分析了超过 10 万张宫颈细胞图像,结果显示该技术在检测宫颈癌前病变的准确率上与经验丰富的病理学家相当。AI辅助新技术的应用能够显著降低甚至完全避免那些不确定的判读结果,从而极大地提高对病变或异常细胞的筛查准确度。通过这种先进的技术手段,宫颈癌细胞的检出率可以达到 95% 以上,这意味着更多的患者能够在早期阶段得到及时的诊断和治疗,从而大大提高了治愈率和生存率^[20]。在宫颈癌筛查中,深度学习正成为这一未来的关键组成部分,它通过不断学习和优化,为早期诊断和治疗提供了新的可能性。这种深度学习技术的应用,不仅减轻了病理学家的负担,更在提高诊断速度的同时,确保了诊断的准确性,使得更多患者能够在疾病早期得到有效治疗。未来,随着技术的不断成熟与优化,AI在宫颈癌筛查领域的应用将更加广泛,有望成为守护女性健康的又一道坚实防线。

3.3 人工智能技术在宫颈癌筛查中的优势

3.3.1 提高筛查的准确性和效率 在宫颈癌筛查领域,AI技术的革新应用正逐步提高检测的准确性和效率。以深度学习算法为例,其在细胞学图像分析中的应用已经显示出超越传统方法的潜力。研究显示,使用深度学习模型对宫颈涂片进行分析,其准确率可达到 99%,显著高于传统人工阅片的 85%~90%^[18-19]。这种技术不仅提高了筛查的准确性,还大幅减少了诊断时间,从而提升了整体筛查效率。此外,计算机视觉技术在组织病理学中的应用,通过自动识别和分类病变组织,进一步强化了筛查过程的精确度。这些技术的集成应用,使得宫颈癌筛查从依赖经验丰富的病理学家转向了更为客观和一致的机器分析,从而在减少误诊和漏诊的同时,也提高了筛查的效率。

3.3.2 降低误诊率和漏诊率 在宫颈癌筛查领域,AI技术的引入显著提升了诊断的准确性和效率,尤其在降低误诊率和漏诊率方面展现了巨大潜力。传统筛查方法依赖于医生的经验和主观判断,这可能导致在细胞学图像分析和组织病理学诊断中出现偏差。通过深度学习算法,AI能够分析成千上万的细胞学图像,识别出微妙的异常模式,这些模式可能对人眼来说难以察觉。此外,AI在 HPV 检测中的应用也通过优化检测流程和提高检测敏感性,进一步降低了漏诊率。这些技术进步不仅提高了筛查的效率,而且为患者提供了更为精确的诊断结

果,从而在早期发现和治疗宫颈癌方面起到了关键作用。

3.4 新技术在宫颈癌筛查中的应用实例

3.4.1 AI辅助液基细胞学检测 在宫颈癌筛查领域,AI辅助的液基细胞学检测技术正逐渐成为革新应用的典范。通过深度学习算法,AI能够分析液基细胞学样本中的细胞图像,识别出癌前病变和早期癌症的微妙变化^[21,22]。这种技术不仅提高了筛查的准确性,还大幅提升了检测效率,使得大规模筛查成为可能。此外,AI系统在处理大量数据时,能够发现人类专家可能忽略的模式和关联,从而在早期阶段就对宫颈癌进行预警^[23-24]。这种智能检测技术的普及,让更多女性受益,尤其是在资源有限的地区,它极大地缩小了医疗资源的差距。借助AI的精准识别,使得宫颈癌的早期发现成为可能,为患者争取了宝贵的时间,挽救了无数生命。

3.4.2 人工智能在 HPV 检测中的应用 在宫颈癌筛查领域,AI技术的应用正逐步改变传统的检测方法,特别是在 HPV 检测中,AI技术的集成带来了革命性的进步。通过深度学习算法,AI能够分析 HPV 检测中的复杂数据模式,从而提高检测的准确性和效率。这种技术不仅能够识别出高风险的 HPV 类型,还能预测病变的进展,为临床决策提供有力支持。此外,AI在处理大规模筛查数据时展现出的高效性,使得筛查工作更加系统化和个性化,从而在预防宫颈癌方面发挥着越来越重要的作用。

3.5 人工智能技术面临的挑战与伦理问题

3.5.1 数据隐私与安全问题 在 AI 辅助宫颈癌筛查的革新应用中,数据隐私与安全问题成为不可忽视的挑战。随着医疗数据量的激增,尤其是涉及敏感的个人健康信息,如何确保这些数据在收集、存储、处理和传输过程中的安全性和隐私性,是技术进步必须面对的伦理和法律问题。研究发现,超过 60% 的医疗数据泄露事件是由于内部人员的不当操作或安全漏洞造成的,这不仅威胁到患者的隐私权益,还可能对医疗机构的信誉造成严重损害。因此,开发和应用 AI 技术时,必须采用加密技术、匿名化处理和访问控制等措施,以保护数据不被未授权访问或滥用。此外,随着欧盟通用数据保护条例(GDPR)等法规的实施,医疗机构和 AI 技术提供商必须确保其数据处理活动符合严格的数据保护标准。因此,在推动 AI 技术革新宫颈癌筛查的同时,必须将数据隐私与安全作为核心考量,确保技术进步与伦理责任并行。

3.5.2 人工智能决策的透明度和可解释性 在 AI 辅助宫颈癌筛查的领域,决策的透明度和可解释性是至关重要的。随着深度学习和计算机视觉技术在细胞学图像分析和组织病理学中的应用日益广泛,医疗专业人员和患者都对 AI 系统的决策过程提出了更高的要求。透明度意味着 AI 系统在做出诊断时所依据的数据、算法和逻辑必须是清晰和可理解的。在使用深度学习模型进行宫颈癌筛查时,模型的预测结果需要能够追溯到具体的图像特征,如细胞核的大小、形状和染色模式,这些特征与宫颈癌的发病风险相关联。AI 系统的主要用途是辅助医生进行诊断,可解释性则要求 AI 系统能够向用户解释其决策逻辑,例如,通过可视化技术展示哪些图像区域对诊断结果有决定性影响^[25]。这不仅有助于提高医疗人员对 AI 系统的信任,也使得患者能够更好地理解自己的健康状况。因此,未来的研究应致力于开发更加透明和可解释的 AI 模型,以确保在

宫颈癌筛查中, AI技术能够得到更广泛和有效的应用。透明度和可解释性的提升, 也将有助于解决 AI在医疗领域面临的信任问题。

4 结语

随着科技的不断进步, AI在宫颈癌筛查中展现出巨大的潜力。虽然目前仍面临数据隐私与安全、决策透明度和可解释性等挑战, 但通过不断的技术创新和伦理规范的完善, AI有望为宫颈癌筛查提供更准确、高效的手段, 为守护女性健康发挥更大的作用。同时, 应持续加强宫颈癌的防治工作, 提高公众对宫颈癌的认识, 推广宫颈癌筛查, 确保每一位适龄女性都能享受到优质的筛查服务, 降低宫颈癌的发病率和死亡率。

【参考文献】

- [1] Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2018, 68(6):394-424.
- [2] Burd E M, Burd E M. Human papillomavirus and cervical cancer [J]. *J Internat Oncol*, 2017, 16(1):890-907.
- [3] Cruz-Gregorio A, Aranda-Rivera AK, Pedraza-Chaverri J. Human papillomavirus-related cancers and mitochondria[J]. *Virus Res*, 2020, 286:198016.
- [4] Revathidevi S, Murugan AK, Nakaoka H, et al. APOBEC: a molecular driver in cervical cancer pathogenesis[J]. *Cancer Lett*, 2021, 496(1):104-116.
- [5] Ibeanu, Okechukwu A. Molecular pathogenesis of cervical cancer [J]. *Cancer Biol Ther*, 2021, 11(3):295-306.
- [6] Ghaderi M, Wallin K L, Wiklund F, et al. Risk of invasive cervical cancer associated with polymorphic HLA DR/ DQ haplotypes [J]. *Internat J Cancer*, 2022, 100(6):698-701.
- [7] Ronco G, Cuzick J, Pierotti P, et al. Accuracy of liquid based versus conventional cytology: overall results of new technologies for cervical cancer screening: randomised controlled trial [J]. *BMJ*, 2017, 335(7609):28-31.
- [8] Goodman A. HPV testing as a screen for cervical cancer[J]. *BMJ*, 2015, 350:2372.
- [9] Koliopoulos G, Nyaga VN, Santesso N, et al. Cytology versus HPV testing for cervical cancer screening in the general population [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2017, 8(8):CD008587.
- [10] Castle PE, Pierz A. (At Least) Once in her lifetime: global cervical cancer prevention [J]. *Obstet Gynecol Clin North Am*, 2019, 46(1):107-123.
- [11] Lyons YA, Kamat AA, Zhou HJ, et al. Non-16/18 high-risk HPV infection predicts disease persistence and progression in women with an initial interpretation of LSIL [J]. *Cancer Cytopathol*, 2015, 123(7):435-442.
- [12] Westre B, Giske A, Guttormsen H, et al. Quality control of cervical cytology using a 3-type HPV mRNA test increases screening program sensitivity of cervical intraepithelial neoplasia grade 2 + in young Norwegian women—a cohort study [J]. *PLoS One*, 2019, 14(11):e0221546.
- [13] 王家建, 董婕, 邓再兴, 等. HPV E6、E7 mRNA联合 HPV 16型和 HPV 18/45 型分型检测作为子宫颈癌机会性筛查方法的探讨[J]. *中华妇产科杂志*, 2019, 54(5):301-306.
- [14] Lee JG, Jun S, Cho YW, et al. Deep learning in medical imaging: general overview[J]. *Korean J Radiol*, 2017, 18(4):570-584.
- [15] Xue P, Ng MTA, Qiao Y. The challenges of colposcopy for cervical cancer screening in LMICs and solutions by artificial intelligence[J]. *BMC Med*, 2020, 18(1):169.
- [16] Wentzensen N, Lahrmann B, Clarke MA, et al. Accuracy and efficiency of deep-learning-based automation of dual stain cytology in cervical cancer screening[J]. *J Natl Cancer Inst*, 2021, 113(1):72-79.
- [17] 薛彩强, 刘显旺, 邓娟, 等. 深度学习在脑肿瘤医学图像研究进展 [J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(12):1813-1816
- [18] Ouwkerk-Noordam E, Boon ME, Beck S. Computer-assisted primary screening of cervical smears using the PAP-NET method: comparison with conventional screening and evaluation of the role of the cytologist[J]. *Cytopathology*, 2021, 5(4):211-218.
- [19] 王哲赛迪研究院. 兰丁高科人工智能医疗影像技术的认知化转型[N]. *中国信息化周报*, 2018(3):16.
- [20] Bernstein SJ, Sanchez-Ramos L, Ndubisi B. Liquid-based cervical cytologic smear study and conventional Papanicolaou smears: a meta analysis of prospective studies comparing cytologic diagnosis and sample adequacy[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2021, 185(2):308-317.
- [21] Yu K, Hyun N, Fetterman B, et al. Automated cervical screening and triage, based on HPV testing and computer-interpreted cytology[J]. *J Natl Cancer Inst*, 2018, 110(11):1222-1228.
- [22] 王嘉旭, 薛鹏, 江宇, 等. 人工智能在宫颈癌筛查中的应用研究进展[J]. *中国肿瘤临床*, 2021, 48(9):468-471.
- [23] 李卫平, 郭昕滕, 张晋宁. TruScreen有望替代 TCT 检查成为宫颈癌变筛查的新手段[J]. *实用妇科内分泌杂志*, 2017, 4(27):127-128.
- [24] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning[J]. *Nature*, 2015, 521(7553):436-444.
- [25] 李健斌, 江泽飞. 中国临床肿瘤学会人工智能决策系统的建立与应用[J]. *中华医学杂志*, 2020, 100(6):411-415.

【收稿日期】 2024-10-28 【修回日期】 2025-01-21