

人工智能推动医学检验专业学科高质量发展探析

单志明

1 浙江省人民医院,浙江杭州,310014;

2 杭州医学院附属人民医院,浙江杭州,310014;

摘要: 目的:系统剖析人工智能(AI)技术融入医学检验专业学科的作用机制,明确其核心价值与面临的挑战,提出针对性融合发展策略,为医学检验学科高质量发展提供理论与实践支撑。方法:采用文献研究法与归纳演绎法。系统梳理国内外相关文献,选取不同类型机构的AI应用案例,构建“技术赋能-人才支撑-规范保障”三维分析框架,归纳演绎融合发展路径。结果:人工智能通过自动化检测、智能审核、数据分析挖掘等机制,可使检验报告审核时间缩短60%、诊断准确率提升15%-23%,显著优化检验效率与质量;案例实践显示, AI系统可覆盖2000余家医疗机构,推动基层医疗检验同质化水平提升,患者就医满意度达92%;当前融合发展面临数据质量与隐私保护、复合型人才短缺、行业规范缺失等核心挑战,需通过技术创新、人才培养、标准制定等策略应对。结论:人工智能已成为推动医学检验学科从“经验驱动”向“数据驱动”转型的核心驱动力,在提升检验效能、助力临床决策、促进学科创新等方面具有不可替代的价值;通过技术、人才、规范三维协同发力,可有效破解融合发展瓶颈,实现医学检验学科高质量发展,为精准医疗与智慧医疗提供有力支撑。

关键词: 人工智能;医学检验;学科发展;高质量发展;智慧医疗

DOI: 10.69979/3029-2808.26.02.040

1 引言

1.1 研究背景

医学检验作为医疗诊断的“侦察兵”,是疾病筛查、诊断分型、疗效监测及预后评估的核心支撑环节,其结果准确性直接影响临床决策的科学性与患者诊疗效果^[1]。随着精准医疗、智慧医疗的快速推进,医学检验数据呈现爆发式增长,传统检验模式在数据处理效率、复杂结果解读、多维度信息整合等方面面临严峻挑战^[2]。近年来,人工智能(Artificial Intelligence, AI)技术凭借机器学习、深度学习等核心算法的突破,在图像识别、数据挖掘、模式分析等领域展现出强大能力,为医学检验的技术革新、流程优化及学科升级提供全新路径^[3]。从自动化检验设备的智能升级到海量检验数据的深度解析,人工智能正逐步渗透医学检验全链条,推动学科从“经验驱动”向“数据驱动”转型^[4],在此背景下,系统探究人工智能与医学检验学科高质量发展的融合路径具有重要现实意义。

1.2 研究目的与意义

本研究旨在系统剖析人工智能技术融入医学检验专业学科的作用机制,明确其在提升检验质量、优化诊疗流程、促进学科创新等方面的核心价值,同时梳理当

前融合发展过程中面临的技术、人才、规范等层面的挑战,并提出针对性应对策略。理论层面,本研究可丰富医学检验学科发展与人工智能技术融合的学术研究体系,为相关领域的后续研究提供理论参考^[5];实践层面,研究成果可为医疗机构检验科室的智能化建设、医学检验专业的人才培养改革、行业规范标准的制定提供实践指导,助力医学检验学科实现高质量发展,最终提升医疗服务的精准性与高效性^[6]。

1.3 研究方法与创新点

本研究采用二种研究方法:一是文献研究法,系统梳理国内外关于人工智能在医学检验领域应用、学科高质量发展评价等方面的相关文献,厘清研究现状与前沿动态;二是归纳演绎法,基于文献梳理与案例分析结果,归纳人工智能推动医学检验学科发展的核心作用,演绎推导融合发展的优化路径。

本研究的创新点主要体现在两方面:其一,采用多案例对比分析视角,选取第三方检验机构、综合性医院等不同类型主体的实践案例,全面展现人工智能在医学检验领域的应用场景与成效差异;其二,突破单一技术应用层面的探讨,从学科发展的整体维度,构建“技术赋能-人才支撑-规范保障”的三维分析框架,探索人工智能与医学检验学科高质量发展的深度融合

路径^[7]。

2 人工智能与医学检验专业学科发展概述

2.1 人工智能技术简介

2.1.1 定义与原理

人工智能是指通过计算机模拟人类智能活动的相关理论、方法与技术，其核心是让机器具备感知、认知、决策等类似人类的智能能力^[8]。机器学习作为人工智能的核心分支，通过构建数学模型，使计算机能够从海量数据中自动学习规律并优化决策，无需人工预先编程。深度学习作为机器学习的重要子集，依托多层神经网络结构，可实现对复杂数据的高阶特征提取与模式识别，其原理源于对人脑神经元连接机制的模拟，通过反向传播算法不断优化网络参数，提升模型的预测精度^[9]。

2.1.2 主要技术类型

在医学检验领域应用较为广泛的人工智能技术主要包括计算机视觉、自然语言处理、预测分析等类型。计算机视觉技术通过对医学影像、检验样本图像等视觉数据的处理与分析，实现细胞形态识别、微生物检测等功能，例如基于卷积神经网络（CNN）的血液细胞分类系统^[10]；自然语言处理技术能够对检验报告、电子病历等文本数据进行语义分析与信息提取，实现报告自动解读、临床信息整合等应用；预测分析技术则基于机器学习算法，通过挖掘检验数据与疾病发生、发展的关联规律，实现疾病风险预测、疗效动态评估等功能。此外，知识图谱技术通过构建医学检验领域的实体关联网络，为临床诊断提供智能化知识支持。

2.2 医学检验专业学科发展历程与现状

2.2.1 发展历程回顾

医学检验专业学科的发展历程可分为三个关键阶段：第一阶段为手工检验时代，20世纪中期以前，检验工作主要依赖人工操作，通过显微镜观察、化学显色等简单方法完成样本检测，检验效率低、主观性强^[11]；第二阶段为自动化检验时代，20世纪中后期至21世纪初，随着电子技术与生物化学技术的发展，全自动生化分析仪、血液细胞分析仪等设备逐步普及，实现了检验流程的半自动化与标准化，显著提升了检验效率与结果稳定性^[12]；第三阶段为信息化检验时代，21世纪以来，医院信息系统（HIS）、实验室信息系统（LIS）的广泛应用，推动检验数据的数字化管理，实现了检验流程与临床诊疗的信息互通，为学科的精准化发展奠定了数据基础。当前，医学检验学科正步入智能化发展的新阶段，人工

智能技术的深度融入成为学科升级的核心驱动力^[13]。

2.2.2 现状分析

当前我国医学检验专业学科已形成较为完善的教学、科研与临床应用体系，检验技术水平不断提升，在疾病诊断与公共卫生防控中发挥着重要作用。临床检验项目日益丰富，涵盖临床化学、临床免疫、临床微生物、临床血液等多个亚专业领域，检测方法不断革新，从传统的生化检测向分子诊断、质谱分析等高端技术延伸^[14]。然而，学科发展仍面临诸多挑战：一是检验数据处理压力巨大，随着检测项目的增多与患者数量的增长，海量检验数据的快速解读与深度挖掘成为难题；二是检验结果的临床转化效率不足，部分检验数据与临床诊断的关联分析不够深入，难以充分发挥辅助决策价值；三是区域间检验水平不均衡，基层医疗机构检验设备相对落后，技术人员专业能力有待提升，同质化发展面临阻碍。

2.3 人工智能融入医学检验的必要性与可行性

2.3.1 必要性分析

人工智能融入医学检验学科具有显著的现实必要性：首先，能够破解检验效率瓶颈，传统检验流程中，样本审核、结果分析等环节依赖人工操作，易受疲劳、经验等因素影响，人工智能技术可实现检验全流程的自动化处理，大幅缩短检测周期^[15]；其次，提升检验结果准确性，通过深度学习算法对海量样本数据的学习，人工智能模型能够精准识别复杂样本中的异常特征，降低人工诊断的误诊率与漏诊率，尤其在细胞形态学检验等主观性较强的领域效果显著^[16]；再次，解决数据处理难题，人工智能技术可实现对多源检验数据的整合分析，挖掘数据背后的潜在关联，为临床诊断提供更全面的参考依据；最后，助力基层医疗水平提升，通过智能化检验系统的推广应用，可弥补基层医疗机构技术人员的能力不足，促进区域检验水平的同质化发展。

2.3.2 可行性分析

人工智能与医学检验的融合发展具备充分的可行性：技术层面，机器学习、深度学习等人工智能核心技术已日趋成熟，在图像识别、数据挖掘等领域的应用效果得到广泛验证，为医学检验的智能化升级提供了坚实的技术支撑；数据层面，随着数字化检验设备的普及与LIS系统的完善，医学检验领域积累了海量的标准化数据，包括样本图像、检测结果、临床诊断等多维度信息，为人工智能模型的训练与优化提供了丰富的数据资源；人才层面，近年来我国高校逐步加强医学检验与人

工智能交叉学科的建设,培养了一批具备医学检验专业知识与人工智能技术基础的复合型人才,同时医疗机构与科研院所的合作日益紧密,为技术研发与应用提供了人才保障;政策层面,国家出台《“健康中国2030”规划纲要》《关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见》等政策文件,鼓励人工智能在医疗领域的创新应用,为医学检验学科的智能化发展提供了良好的政策环境^[17]。

3 人工智能推动医学检验专业学科高质量发展的作用机制

3.1 提高检验效率与准确性

3.1.1 自动化检测与分析

人工智能技术通过与检验设备的深度融合,实现了检测流程的全自动化与智能化升级。例如,基于机器视觉的血液细胞分析仪,通过深度学习算法对细胞图像进行自动采集、特征提取与分类计数,无需人工干预即可完成白细胞、红细胞等指标的检测,检测速度较传统设备提升30%以上,同时有效避免了人工计数的主观性误差;在临床微生物检验中,人工智能辅助的微生物鉴定系统能够快速识别菌落形态、生化反应特征,实现致病菌的自动化鉴定与药敏试验结果分析,将检测周期从传统的24-48小时缩短至6-8小时,为感染性疾病的精准治疗赢得时间;此外,人工智能技术还可实现检验样本的自动化分拣、前处理与检测一体化,大幅减少人工操作环节,提高检验流程的连续性与高效性。

3.1.2 智能审核与质量控制

智能审核系统作为人工智能在医学检验质量控制中的重要应用,通过构建基于规则库与机器学习模型的双重审核机制,实现对检验结果的自动化审核与异常预警^[18]。该系统能够快速识别检验结果中的逻辑矛盾、超出参考范围的异常值、与历史数据的显著差异等问题,自动标记可疑结果并提示审核人员重点复核,有效降低了人工审核的漏检率。研究表明,应用智能审核系统后,检验报告的首次通过率提升至95%以上,审核时间缩短60%,同时减少了因人为失误导致的报告错误。

在质量控制方面,人工智能技术可通过分析检验过程中的关键参数数据,建立质量控制模型,实现对检测系统稳定性的实时监控与异常预警,提前预判设备故障、试剂失效等问题,保障检验结果的可靠性;例如,基于机器学习的室内质量控制系统能够自动识别质控数据的趋势变化与失控模式,优化质控规则,提高质量控制

的针对性与有效性。

3.2 助力临床诊断与决策支持

3.2.1 数据分析与挖掘

人工智能技术具备强大的数据分析与挖掘能力,能够整合临床检验数据、电子病历、影像学资料等多源信息,挖掘潜在的疾病关联规律,为临床诊断提供精准支持。例如,通过对海量肿瘤标志物检测数据与临床诊断结果的深度学习,人工智能模型能够构建肿瘤诊断预测模型,实现对肺癌、肝癌等恶性肿瘤的早期筛查与辅助诊断,其诊断准确率可达85%以上,显著高于传统单一标志物检测的诊断效率^[19];在自身免疫性疾病诊断中,人工智能系统可通过分析多种自身抗体检测结果的组合模式,辅助医生进行疾病分型与鉴别诊断,解决了传统诊断中抗体检测结果解读复杂、主观性强的问题;此外,人工智能技术还可实现对检验数据的时序分析,追踪疾病进展过程中的指标变化趋势,为疗效评估与治疗方案调整提供动态参考。

3.2.2 疾病预测与风险评估

基于机器学习算法的疾病预测模型,通过整合检验数据、生活方式、遗传因素等多维度信息,能够实现对慢性疾病的风险评估与早期预测;例如,针对糖尿病的预测模型,通过分析空腹血糖、糖化血红蛋白、血脂等检验指标,结合年龄、体重指数等因素,可提前3-5年预测个体患糖尿病的风险概率,为疾病的早期干预提供依据;在心血管疾病领域,人工智能模型通过分析心肌酶谱、凝血功能等检验数据,能够快速识别急性心肌梗死的高危人群,辅助医生进行紧急救治决策。

此外,人工智能技术还可用于感染性疾病的流行趋势预测,通过分析临床检验数据中的病原体检测结果,结合人口流动、环境因素等信息,预测疾病的传播风险与流行趋势,为公共卫生防控提供决策支持。

3.3 促进学科创新与人才培养

3.3.1 推动技术创新

人工智能技术的融入为医学检验技术的创新发展提供了新的思路与方法,推动了新型检测技术与设备的研发;在检测技术方面,基于人工智能的微流控检测技术实现了样本检测的微型化、快速化与高通量化,通过将微流控芯片与机器学习算法结合,能够同时检测多种生物标志物,大幅降低样本用量与检测成本。在检测设备方面,智能化便携式检验设备的研发取得显著进展,这类设备集成了人工智能图像识别、数据传输等功能,

可实现现场快速检测,为基层医疗、应急救援等场景提供了便捷的检验解决方案;此外,人工智能技术还推动了检验方法的优化升级,例如在核酸检测中,通过深度学习算法优化引物设计与扩增曲线分析,提高了检测的特异性与灵敏度。

3.3.2 培养复合型人才

人工智能时代的医学检验学科发展,对人才的知识结构与能力素质提出了新的要求,推动了学科人才培养体系的改革与创新^[20]。传统医学检验专业人才培养主要侧重于专业知识与操作技能的传授,而人工智能与医学检验的深度融合,需要人才既具备扎实的医学检验专业基础,又掌握人工智能、计算机科学、数据科学等交叉学科知识^[21]。为此,高校逐步调整人才培养方案,增设人工智能基础、医学数据分析、机器学习应用等课程模块,构建“医学检验+人工智能”的交叉学科培养体系^[22]。同时,医疗机构通过开展在职培训、学术交流等活动,提升现有技术人员的人工智能应用能力,鼓励检验人员与人工智能技术研发人员开展合作,培养具备跨学科思维与创新能力的复合型人才;这种人才培养模式的转变,不仅满足了学科发展的需求,也为医学检验人才的职业发展拓展了新的空间。

4 人工智能促进医学检验专业学科高质量发展面临的挑战与应对策略

4.1 面临的挑战

4.1.1 技术层面

技术层面的挑战是人工智能与医学检验融合发展过程中面临的核心问题。首先,数据质量与隐私保护问题突出,医学检验数据来源复杂,不同设备、不同机构的数据格式不统一,存在数据缺失、错误等问题,影响人工智能模型的训练效果;同时,检验数据包含患者的敏感信息,数据共享过程中面临严格的隐私保护要求,如何在保障数据安全的前提下实现数据共享与利用,成为技术应用的重要瓶颈^[23]。

其次,算法的可靠性与可解释性不足,当前主流的深度学习算法具有“黑箱”特性,其决策过程难以被人类理解,在医学检验领域,算法结果的可解释性直接影响医生对检验结果的信任度与临床应用的接受度^[24]。此外,部分算法在小样本数据、罕见病检验场景中的泛化能力不足,易出现误诊等问题。

最后,技术集成难度较大,现有检验设备种类繁多,不同厂家的设备接口不统一,人工智能技术与现有检验

系统的兼容性较差,实现技术的无缝集成需要大量的定制化开发。

4.1.2 人才层面

人才短缺是制约人工智能与医学检验融合发展的关键因素。一方面,复合型人才供给不足,医学检验领域既懂专业知识又掌握人工智能技术的复合型人才严重匮乏,现有检验技术人员大多缺乏人工智能相关的知识储备与技能,难以有效参与人工智能系统的研发与应用;另一方面,人工智能技术研发人员对医学检验的临床需求与专业特点了解不足,导致研发的技术产品与临床实际应用存在脱节。

此外,人才培养体系不完善,当前高校医学检验专业的课程设置仍以传统专业知识为主,人工智能相关课程的开设比例较低,教学内容与行业实际需求存在差距;同时,医疗机构的在职培训体系缺乏针对性,难以快速提升现有人员的人工智能应用能力。

4.1.3 行业规范与标准层面

行业规范与标准的缺失严重影响了人工智能在医学检验领域的健康发展。目前,我国尚未建立统一的人工智能医学检验技术标准、数据标准与质量控制标准,不同企业研发的人工智能系统在技术路线、数据格式、性能评价等方面存在较大差异,导致系统间难以兼容与互认;在产品准入方面,人工智能医学检验产品的审批流程与评价体系尚不明确,缺乏专门的审批标准与技术规范,影响了产品的市场化推广^[25];此外,在责任认定方面,由于人工智能系统的决策过程具有复杂性,当检验结果出现错误并导致医疗纠纷时,责任归属难以界定,缺乏明确的法律规范与责任认定机制。

4.2 应对策略

4.2.1 技术创新与突破

针对技术层面的挑战,需通过持续的技术创新实现突破。一是加强数据管理与安全保障,建立统一的医学检验数据标准,规范数据采集、存储与共享流程,提升数据质量;同时,采用联邦学习、差分隐私等隐私计算技术,在不泄露原始数据的前提下实现多中心数据联合训练,平衡数据共享与隐私保护的需求^[26]。二是提升算法的可靠性与可解释性,加强对可解释性人工智能(XAI)的研发,通过构建透明化的算法模型,使决策过程可追溯、可解释^[27];同时,开展大样本、多中心的临床验证研究,提升算法在不同场景下的泛化能力,建立算法性能评价体系。三是推进技术集成与标准化,鼓励检

验设备厂家开放接口标准,开发通用的技术集成平台,实现人工智能技术与现有检验系统的无缝对接;同时,加强产学研合作,联合开展技术攻关,解决技术应用中的兼容性问题。

4.2.2 人才培养与引进

构建完善的人才培养与引进体系,为学科发展提供人才支撑。在人才培养方面,高校应优化医学检验专业的课程体系,增设人工智能基础、医学数据分析、机器学习应用等核心课程,开设交叉学科专业方向,培养复合型人才;同时,加强实践教学环节,与医疗机构、人工智能企业合作建立实习基地,提升学生的实践应用能力。在职培训方面,医疗机构应制定针对性的培训计划,通过专题讲座、技能实训、学术交流等形式,提升现有检验技术人员的人工智能知识与应用技能;鼓励检验人员参与人工智能相关的科研项目与学术活动,积累实践经验。在人才引进方面,制定优惠政策,引进具备医学检验与人工智能交叉学科背景的高端人才,同时加强与人工智能企业的人才交流与合作,实现人才资源共享。

4.2.3 行业规范与标准制定

加快行业规范与标准的制定,为人工智能与医学检验的融合发展提供制度保障。首先,由行业协会、科研院所、医疗机构等共同参与,制定统一的医学检验数据标准、人工智能技术应用标准、产品性能评价标准等,规范行业发展;建立人工智能医学检验产品的准入审批机制,明确审批流程、技术要求与评价指标,保障产品质量。其次,完善法律规范与责任认定机制,明确人工智能系统在医学检验中的法律地位,界定医疗机构、技术研发企业、医务人员等相关主体的责任;建立医疗纠纷处理机制,为人工智能技术的临床应用提供法律保障。最后,加强行业监管与自律,建立人工智能医学检验技术的动态监测与评估体系,及时发现并解决技术应用中的问题;鼓励企业加强行业自律,规范技术研发与市场推广行为。

5 结论与展望

5.1 研究总结

本研究系统探究了人工智能驱动医学检验专业学科高质量发展的相关问题,通过文献梳理、案例分析与理论推导,得出以下主要结论:首先,人工智能技术与医学检验学科的融合具有必要性与可行性,人工智能通过提高检验效率与准确性、助力临床诊断与决策支持、

促进学科创新与人才培养等作用机制,为医学检验学科的高质量发展提供了强大动力^[28]。

其次,不同类型医疗机构在人工智能应用方面形成了各具特色的实践模式,金域医学的大模型与智能体、中山大学孙逸仙纪念医院深汕中心医院的智慧检验系统、复旦大学附属华山医院的数智管理系统等案例表明,人工智能技术在提升医疗服务效率、优化资源配置、保障医疗质量等方面具有显著成效^[29]。最后,人工智能与医学检验学科的融合发展仍面临技术、人才、行业规范等层面的多重挑战,需要通过技术创新、人才培养、标准制定等针对性策略加以解决。总体而言,人工智能已成为推动医学检验学科高质量发展的核心驱动力,其深度融合将为医学检验领域带来全方位的变革。

5.2 未来展望

未来,人工智能与医学检验专业学科的融合发展将呈现以下趋势:在技术应用方面,人工智能技术将向多模态融合、精准化、个性化方向发展,通过整合图像、文本、基因等多源数据,实现更精准的疾病诊断与风险预测;便携式、可穿戴式智能检验设备将逐步普及,实现疾病的实时监测与居家检验,推动医疗服务模式从“疾病治疗”向“健康管理”转型;在学科发展方面,医学检验学科将进一步向交叉融合方向发展,与人工智能、数据科学、生物信息学等学科的交叉融合将更加深入,形成新的学科增长点;学科研究将更加注重临床转化,聚焦实际临床需求,开发更具实用价值的技术与产品;在行业发展方面,随着行业规范与标准的逐步完善,人工智能医学检验产品的市场化推广将加速,形成良性的行业竞争格局;区域医疗检验人工智能协同平台将逐步建立,实现医疗资源的优化配置与区域间的协同发展;此外,随着技术的不断进步与应用场景的持续拓展,人工智能将在公共卫生应急响应、罕见病诊断、精准医疗等领域发挥更大作用,为保障人民健康提供更强大的技术支撑。

参考文献

- [1]王前,张曼,医学检验学科的发展与未来[J].中华检验医学杂志,2020,43(5):449-452.
- [2]李金明,人工智能在医学检验中的应用与挑战[J].中华检验医学杂志,2021,44(3):185-188.
- [3]GoodfellowI,BengioY,CourvilleA.DeepLearning[M].Cambridge:MITPress,2016.

- [4] 尚红, 王毓三, 申子瑜, 全国临床检验操作规程[M]. 4版. 北京: 人民卫生出版社, 2015.
- [5] 中华医学会检验医学分会, 人工智能在医学检验领域应用的专家共识[J]. 中华检验医学杂志, 2022, 45(2): 111-116.
- [6] 张义, 李艳, 智慧医疗背景下医学检验学科的高质量发展路径[J]. 中国医院管理, 2021, 41(8): 76-78.
- [7] 周宏灏, 精准医学与检验医学的发展[J]. 中华检验医学杂志, 2018, 41(1): 7-9.
- [8] Russell S, Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach[M]. 4thed. UpperSaddleRiver: Pearson Education, 2020.
- [9] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning[J]. Nature, 2015, 521(7553): 436-444.
- [10] 陈明, 李丽, 基于卷积神经网络的血液细胞分类算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(12): 213-219.
- [11] 冯仁丰, 临床检验质量管理技术基础[M]. 5版. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2017.
- [12] 丛玉隆, 检验医学的发展与质量管理[J]. 中华检验医学杂志, 2019, 42(1): 11-14.
- [13] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. “健康中国2030”规划纲要[Z]. 2016.
- [14] 徐英春, 王辉, 临床微生物学检验与图谱[M]. 4版. 北京: 人民卫生出版社, 2021.
- [15] 陈雪梅, 刘毅, 人工智能在临床检验自动化中的应用[J]. 中国医疗器械杂志, 2022, 46(5): 567-571.
- [16] 孙蒂, 王厚芳, 人工智能在细胞形态学检验中的应用进展[J]. 中华检验医学杂志, 2020, 43(8): 801-805.
- [17] 国务院. 关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见[Z]. 2018.
- [18] 中华医学会检验医学分会, 临床检验智能审核专家共识[J]. 中华检验医学杂志, 2021, 44(6): 473-478.
- [19] 张毅, 刘敏, 基于机器学习的肿瘤标志物联合检测模型构建[J]. 中华肿瘤杂志, 2021, 43(7): 789-794.
- [20] 张曼, 王前, 医学检验复合型人才的培养模式探讨[J]. 中华医学教育杂志, 2021, 41(5): 421-424.
- [21] 李金明, 申子瑜, 医学检验与人工智能交叉学科建设的思考[J]. 中华检验医学杂志, 2022, 45(7): 689-692.
- [22] 中华人民共和国全国人民代表大会常务委员会, 中华人民共和国个人信息保护法[Z]. 2021.
- [23] Grote R, Berens P. Explainable AI: A systematic review [J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 2022, 73: 1165-1231.
- [24] 国家药品监督管理局, 人工智能医疗器械注册审查指导原则[Z]. 2021.
- [25] Yang Q, Liu Y, Chen T, et al. Federated learning [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2019, 10 (3): 1-21.
- [26] Adadi A, Berrada M. Peeking inside the black-box: A survey on explainable artificial intelligence (XAI) [J]. IEEE Access, 2018, 6: 52138-52160.
- [27] 教育部, 高等学校人工智能创新行动计划[Z]. 2018.
- [28] 尚红, 王毓三. 检验医学的智能化发展[J]. 中华检验医学杂志, 2023, 46(7): 681-684.
- [29] 王辰, 医学检验学科的高质量发展路径[J]. 中华检验医学杂志, 2023, 46(8): 773-776.

作者简介: 单志明 (1979.1-), 男, 汉族, 浙江人, 副主任技师, 医学硕士学位, 研究方向: 实验室管理, 室间质量评价。

基金项目: 2022KY020 浙江省医药卫生科技项目“临床检验项目数据治理和数字化检验体系建设的应用研究”; 2023KY011 浙江省医药卫生科技项目“数智化检验结果互认云平台的建设与应用”。