

的指导下学习专业前沿相关的研究进展、操作技术、论文撰写等方面的知识,培养和发掘自己的创新理念和创新思维,充分发挥个人特长,为社会创造更大的价值^[12-14]。课程设计构思详见图 2。

发展创新实践教育,培养合格的高技术应用型人才,必须走产学研结合的道路。产学研结合是以学术研究、专业教育与行业生产相结合,实现校企双赢全方位合作的医学检验技术培训模式^[15-16]。在医学检验技术专业开展“创新实践教学”是顺应时代发展,符合本科生教学方针,培养应用型医学检验人才的有效教学途径。应该在不断的实践教学过程中加以完善,提高医学检验技术专业创新实践课程的教学质量,培养出既具有专业特色又富有实践操作技能的高端应用型医学检验人才^[17]。

参考文献

- [1] 马晓娣.我国医学检验本科专业人才培养的问题与对策研究[D]. 沈阳:东北大学,2010.
- [2] MCGEE J B,KANTER S L. How we develop and sustain innovation in medical education technology: Keys to success[J]. Med Teach,2011,33(4):279-285.
- [3] PFEIFER C M. A progressive three-phase innovation to medical education in the United States[J]. Med Educ Online,2018,23(1):1427988-1427992.
- [4] PETTY E,GOLDEN R N. Embracing innovation in medical education[J]. WMJ,2017,116(3):179-180.
- [5] 邓均,郑峻松,黄辉,等.医学检验本科生科研能力培养与实践的教学改革探讨[J]. 国际检验医学杂志,2012,33(2):243-244.
- [6] 祝思路,付玉荣,伊正君.应用型医学检验技术专业教师管理·教学

教学能力提升的策略[J]. 医学教育研究与实践,2017,25(3):405-407.

- [7] WOODS M,ANDERSON L,ROSENBERG M E. Inspiring innovation in medical education[J]. Minn Med,2014,97(9):47-48.
- [8] 李海侠,郑磊,杨佳,等.医学检验专业创新创业人才培养模式的初探[J]. 中国高等医学教育,2014(3):39-40.
- [9] 向阳,毛旭虎.医学检验本科生科研能力训练与创新素质的培养[J]. 国际检验医学杂志,2016,37(9):1298-1299.
- [10] 吕世静.医学检验专业学生科研能力与创新能力的培养与探索[J]. 中华医学教育杂志,2005(3):13-15.
- [11] 曾常茜,赵彩红,丁宁.发挥综合性大学优势,推进医学检验实践教学[J]. 实验技术与管理,2012,29(11):16-17.
- [12] 梁航华.医学检验专业的教学改革与实践[J]. 生物技术世界,2015(6):172-173.
- [13] 刘成玉,管洪在.医学检验专业课程体系的改革与实践[J]. 医学教育探索,2009,8(1):27-30.
- [14] 陈丽华,陈辉,宋明胜,等.医学检验技术专业应用型创新人才培养模式的探索与实践[J]. 中国高等医学教育,2017(4):24-25.
- [15] 谭静,王凡平,王明永.医学检验实践教学体系改革与实践[J]. 中国高等医学教育,2012(12):73-96.
- [16] 张国军,吕虹,康熙雄.医学检验教育传承、创新、发展的探索与实践[J]. 中国实验诊断学,2012,16(10):1964-1965.
- [17] 吴芹,赵霄,马桂芳,等.医学检验技术专业教学促就业、引招生举措的实践和研究[J]. 实验与检验医学,2017,35(4):610-612.

(收稿日期:2018-09-20 修回日期:2018-12-28)

人工智能对我国检验医学的机遇与挑战

张桐硕¹,逢瑗博²,任鹤菲¹,魏茂提³,李艳秋^{1△}

(1. 武警特色医学中心检验科,天津 300162;2. 武警北京总队执勤第十一支队卫生队,北京 100000;
3. 武警后勤学院部队流行病学教研室,天津 300309)

摘要:人工智能(AI)应用于医疗健康领域是大势所趋,将全方位推动检验医学的变革。该文结合我国检验医学的发展现状,探讨了 AI 相关技术在提升检验流程的自动化程度、挖掘检验数据的辅助诊断价值、重塑检验行业服务模式中的应用潜力,进而从检验医学工作者的角度,设想未来面临 AI 取代检验科日常工作带来的冲击,如何实现向检验数据管理人员或检验医师的职能转型,开创人一机协同的检验医学新时代。期望该文对检验医学领域 AI 发展方向的推演能为广大检验同仁及智能医疗从业者提供启发和参考。

关键词:检验医学; 人工智能; 大数据; 辅助诊断; 检验医师

DOI:10.3969/j.issn.1673-4130.2019.08.033

中图法分类号:TP18

文章编号:1673-4130(2019)08-1018-05

文献标识码:B

作为一门利用计算机程序模拟人类学习行为以改善自身性能的学科^[1],人工智能(AI)借助互联网、

△ 通信作者,E-mail:liyanqiuyong@126.com。

本文引用格式:张桐硕,逢瑗博,任鹤菲,等.人工智能对我国检验医学的机遇与挑战[J]. 国际检验医学杂志,2019,40(8):1018-1022.

大数据、云计算等新兴技术的支撑,在近年来取得了突破性的进步。2017 年 7 月国务院印发的《新一代人工智能发展规划》正式将 AI 上升到国家战略的高度,其中针对医疗方向提出了“推广应用人工智能治疗新模式新手段,建立快速精准的智能医疗体系”的任务部署^[2]。如今,AI 在医疗领域的研究成果频出,国内外高科技企业相继布局智能医疗行业^[3]。AI 已经逐步融入医疗健康领域,出现了医学影像智能判读、病理理解与检索、手术机器人、可穿戴生理监测、新药研发、健康管理等诸多应用场景^[4]。

现今的检验科无论从技术含量还是仪器设备的多元密集性都是其他科室所无法比拟,体现了检验医学对待新技术更为敏锐,为 AI 预备了广阔的技术转化平台。另一方面,临床对检验结果日益高标准的质量要求、个体化结果的分析和咨询及庞杂数据的处理压力都迫切需要 AI 为检验医学注入新的活力。然而,AI 参与检验数据的生成和辅助诊断在国内检验医学领域尚处于起步阶段。文献计量结果显示,我国在 AI 医学装备技术领域的研究与报道聚焦在医学影像学、临床病理学、放射治疗等方面,而检验医学对 AI 技术开发相对薄弱^[5]。本文立足于 AI 在医学应用中的最新进展,总结出 AI 与检验医学在各个层面的结合途径,并剖析目前的制约因素,为检验工作者在 AI 浪潮中进行前瞻性准备、提升核心竞争力提出一些建设性意见。

1 AI 对整个检验流程的覆盖

1.1 检验前阶段的标本采集与传送 检验分析前(包括标本的采集、储存与运送)的人员涉及面广、潜在因素多,是质量管理最薄弱的环节,60%~70% 的检验差错来源于此。医疗机器人是 AI 控制技术应用在医疗器械上的典型代表,除了为人熟知的达芬奇手术机器人,医疗机器人的种类已涵盖了导诊、运送、护理辅助等医疗保健流程。血液检验是临床检验中最重要的内容,然而人工采血耗时费力,不仅患者排队等待就医体验不佳,而且项目识别和人工贴条码过程易出差错。美国初创公司 VascoLogic 研制的采血机器人通过 AI 算法综合分析手臂的红外和超声信号,定位静脉最佳采血位点,根据血流量自动调整进针深度,相比护士采血更加安全高效,也将大大缓解患者对采血的畏缩情绪。再如我国少数几家医院率先开展的门诊智能采血管理系统^[6-7],实现了排队叫号、判断患者检验信息、核实检验项目、血样传输的全程自动化,极大提高了检验效率,同时化解了困扰已久的医患纠纷,发挥了良好的示范效应。

1.2 检验中阶段的深度学习助力形态学判别 以卷积神经网络为标志的深度学习是驱动此轮 AI 爆发的核心,它突破了非结构性数据分析的瓶颈,尤为擅长分析图像信息。基于图像识别的 AI 对皮肤癌^[8]、乳腺癌^[9]和先天性白内障^[10]等疾病的鉴定水准已经达

到甚至超过专业医生,此类研究成果 2016 年以来陆续发表在 Nature、JAMA 等重磅医学期刊。2018 年初,美国食品药品监督管理局(FDA)批准了全球首个深度学习影像临床应用平台 Arterys Cardio DL。腾讯推出的 AI 医学产品“腾讯觅影”包含早期食管癌、肺结节、乳腺癌、糖尿病视网膜病变等多病种的影像筛查,并落地国内 100 余家三甲医院。谷歌旗下的 Deepmind 开始将更精确全面的 3D 图像技术应用于深度学习。AI 在影像学领域的科研和商业化走在了前列,为形态学检验提供了可借鉴的经验。从上世纪 80 年代就有学者开始对血细胞、尿液有形成分等样本的图像识别进行尝试,但受制于算法结构和细胞数据库的规模,效果并不令人满意,如今的主流仍是利用流式细胞技术转换成的光电信号间接识别,再通过人工镜检确认。以深度学习催生的新一代计算机视觉技术为依托,无论是血细胞、骨髓细胞、精子,还是尿液和粪便颗粒,乃至细菌形态和染色体,都有望遵循着数字扫描成像、图像特征提取、多层模型训练的范式开发分析系统并在形态学检验领域推广^[11],攻克检验项目全自动化的最后难关。

1.3 检验后阶段的个性化报告审核 检验报告是检验后阶段的重要质量指标,审核和报告检验结果不仅要求及时、准确,并尽量实现不同审核者间的标准化。审核检验结果的难点在于标本取自的患者状况千差万别,不能机械地依据指标的参考区间判断异常值,患者指标相对于其个体基础水平的动态变化有时才是重要的。这要求检验工作者密切结合临床信息加以综合评估,必要时查询病历或电话追问患者的主治医生,是对其工作经验和责任心的极大考验。基于患者自身情况建立个体检验指标的参考区间,实现个性化审核是智能化审核系统的改进目标。例如判断心肌肌钙蛋白 I(cTNI)检测结果的可靠程度时,系统将自行调取心脏病发病史或手术史以及 cTNI 的历史结果等一系列临床诊疗进程的指标输入审核模型,若不能通过审核,会自动制定复检方案并切换至人工确认。而个性化 AI 审核的前提是 LIS 和 HIS 系统对接保证数据共享。

2 基于检验数据的 AI 辅助诊断

2018 年 4 月国务院发布了《关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见》,其中包括推进“互联网+人工智能”应用服务,研发基于 AI 的临床诊疗决策支持系统。在发达国家,70%~80% 的医疗决策依赖于实验室检查结果^[12]。通过 AI 挖掘检验指标与疾病之间隐含的联系或规则,无疑能为临床提供更有价值的诊断意见,充分体现检验医学意义。早期的计算机辅助诊断由手动编制的大量逻辑规则组成知识库,采用符号推理的方式,无法在临床实践中自我校正、弥补知识缺陷,因而临床应用非常局限^[13]。如今 AI 为辅助诊断开辟了新的途径,其凭借强大的自学能力灵活

调整参数、持续优化系统性能,实现了对临床诊病思维和推理判断过程的模拟。我国的 AI 辅助诊断还停留在对国外的仿效阶段,从基于单类型检查数据的辅助诊断,到利用电子病历、检验、影像等多类型数据源的综合辅助诊断,再到集诊断、治疗、预防、风险预测等功能为一体的医疗专家系统,将是 AI 作为医疗辅助工具的升级方向。

2.1 区块链为诊断模型提供数据保障 随着深度学习算法日趋成熟,人类进入了 AI 的实践时代,大量且优质的模型训练数据成为了提升 AI 诊断效果的决定因素。最具代表性的是 IBM 公司的 AI 机器人“沃森医生”,它吸纳了 150 万份病历和诊断图像、200 万页医学专著或文献资料来构建肿瘤识别模型,因其优异的性能被誉为“最好的癌症专家”^[14]。中国在医疗数据方面具有先天优势,令人遗憾的是,国内医院缺乏数据互通规范,医疗数据被分割在不同的部门里,难以发挥规模效益^[3]。检验科是医疗单位中最具大数据特征的科室之一,但在检验数据的收集过程中,会不可避免地涉及到国民健康信息等国家基础安全数据和患者隐私等不适宜公开的信息,必须采取必要措施规避相关法律和伦理风险。恰好崛起中的区块链实现了点到点以及信息流向的精准识别,有望成为医疗大数据的传递平台^[15]。检验科的某项检测结果一旦生成就可加密写入区块链,既能通过时间戳溯源患者和样本以确保数据准确,又禁止被无权限的人员查看,更杜绝了黑客的攻击篡改。在患者的授权下,这些检验数据以一种安全共享的方式在医疗体系内流转,节约了数据获取的成本,也增加了患者对院方的信任。未来或以区块链建立一套医疗产业的信用系统,为 AI 辅助诊断铺平道路。

2.2 数据挖掘对传统指标的二次开发 相比那些备受瞩目但缺乏临床实用性的新型标志物,大量常规检验指标的诊断价值可能被无意忽略了,在智能医疗时代迫切需要被重新认识和开发。数据挖掘在 AI 领域被视为机器学习和数据库的交叉,能从海量的医疗数据中提取潜在的信息和模式。对检验结果和病情诊断数据的深度挖掘,可以将传统检验指标的用途推陈出新。一方面,通过数据挖掘探索、优化多指标联合诊断方案,使现有的检验指标高度协同、融合,最大限度地提升诊断效能。如笔者近期完成的一项关于卵巢癌智能化辅助诊断的研究,利用电子病历挖掘系统收集了肿瘤标志物、血常规、性激素类等共计 28 项血液学指标,然后经主成分分析提取这些指标的核心特征,最后得出的诊断效能明显优于单项检测 CA125^[16]。另一方面,通过数据挖掘对纷繁的检查项目进行筛选,精简项目组合,节约医疗资源并减轻患者经济负担。如 LIPPI 等^[17]在对近 4 000 例门诊样本的回顾分析中发现红细胞体积分布宽度(RDW)和超敏 C 反应蛋白(hs-CRP)、红细胞沉降率(ESR)两项

炎症指标呈明显正相关,由此建议在心血管疾病风险预测模型中选用更为方便廉价的 RDW 替代 hs-CRP 和 ESR。运用数据挖掘技术开发兼顾简约与疾病覆盖面的检验项目组合将愈发普遍,同时也给予检验工作者更多调用手边的数据资源开展科研的机会。

2.3 机器学习解读分子诊断 在我国政府大力推动精准医疗计划的背景下,并获益于生物芯片和基因测序技术的进步,检验医学突破了过去以血、尿、便三大常规为主的工作范围,拓展到当代医学的前沿领域——分子诊断^[18]。种类繁多的基因组、蛋白质组、代谢组、宏基因组检测数据是实现精准医疗的必要前提,但高通量组学数据的呈现形式不同于传统检验数据,全新的解读分析思路给检验行业带来了挑战。机器学习是 AI 研究的基础内容,下分为诸多具体模型,主要思想是利用已知数据捕获未知的概率分布特征。机器学习算法远比常规回归模型适合处理非线性关系,而且机器学习的鲁棒性强,足以应对分子检测伴发的数据噪音干扰。机器学习构建起的复杂精密的多参数诊断模型已广泛应用于液体活检、产前筛查等领域。BEST 等^[19]采用支持向量机评估了血小板 RNA 测序对泛癌症类型的区分度。CAPPER 等^[20]自主设计机器学习程序分析 DNA 甲基化指纹来鉴定中枢神经系统肿瘤。REN 等^[21]构建了基于肠道微生物诊断早期肝癌的随机森林分类器,并在跨地域人群中得到验证。

3 AI 与检验行业服务模式的双向促进

承受着民众医疗刚需对检验与诊断资源的巨大压力,以综合性医院检验科为主体的检验服务体系正逐步向两翼分担,第三方实验室和家用即时检验(POCT)将承接更多的检验业务。第三方实验室或区域检验中心的高效、完备、集中,与 POCT 的快捷、便携、分散的特点相配合,可以满足不同层次人群的需求。AI 可以把技师的误差排查和专家的诊断经验固化下来,弥补以上检验服务场景中医疗专业人员的缺位,以 AI 赋能的方式快速拉动第三方实验室和 POCT 的服务质量,帮助优质的检验诊断资源下沉到基层,推进分级诊疗的落实;第三方实验室和 POCT 源源不断产生的数据又能反哺 AI 系统性能的升级迭代,并为 AI 在检验医学产业生态中的布局开辟广阔空间,由此可形成 AI 适用性与检验行业服务水平的良性循环式发展。

3.1 AI 与第三方实验室 第三方独立医学实验室起源于美国,在欧美和日本等发达国家,第三方实验室已经占据临床检验市场的 1/3 以上。而我国的第三方医学检验兴起较晚,市场份额只有 3%。我国 2017 年 4 月颁发了《国务院办公厅关于推进医疗联合体建设和发展的指导意见》,医联体成为现今医疗改革的主题,第三方实验室作为医联体的重要组成部分,在政策的鼓励下开始在各地建设起来。届时,第

三方实验室负责区域内的各家社区卫生机构和中小型医院会将采集完的标本通过冷链物流系统统一运送,伴随着检测工作量的激增,第三方实验室迫切需提升检测的自动化水平以及结果自动解读能力。AI 医疗流程控制与诊断系统在第三方实验室配置后,不仅能保证传回各个卫生机构的检验结果的规范化和标准化,还能附加初步诊断的增值服务,将一些重点疾病的筛查和预警工作提前完成,节省医生的反应时间。

3.2 AI 与 POCT POCT 是在采样现场或患者旁边,利用便携式分析仪器及配套试剂快速取得检测结果的一类检验方式,省去标本在实验室的复杂处理过程,其产品趋于家用化与可穿戴化,在疾病预防、慢病管理等方面的应用市场巨大。AI 和 POCT 类检测设备的结合日益紧密,融入了更多智能化、信息化元素的智慧 POCT(iPOCT)设备崭露头角。iPOCT 内植入的 AI 软件通过访问基于云端大数据的质量管理服务系统,真正实现远程监护和质量控制;在检测完成后,又能与病史信息、体征指标迅速整合,在经大样本反复训练后的 AI 模型中进行自动分析,提供更全面的诊疗建议。iPOCT 与移动云平台、个人用户 APP 终端以及医院的 LIS 与 HIS 系统相互连接,可达成区域医疗机构之间结果互认,便于医生追踪用户的健康状况,完成院外随访数据的采集,iPOCT 将成为连接家庭、检验医师、社区卫生医生的枢纽。以糖尿病管理为例,无创型连续血糖监测仪是 POCT 领域的一大亮点,它通过感应器监测皮下组织间液的葡萄糖浓度而间接反映血糖水平^[22]。在未来,可利用 AI 引擎分析用户的血糖、用药等数据后,将血糖控制的实时指导意见快速传到用户的手机、手表等移动接收设备。在此基础上还能加装 AI 精准调控的胰岛素输送泵,打造“仿生胰腺”。

4 人一机结合时代检验人的焦虑与转型

人类曾经独有的能力范畴不断被 AI 侵入,AI 对各行业的冲击导致的从业者焦虑普遍存在^[23],检验行业更是这种恐慌情绪的“重灾区”。检验医学的智能化变革已势不可挡,抗拒和逃避都只会让研究者错失这一轮技术红利。AI 的优越性很大程度上依托于底层的复杂数学原理和高性能计算技术,但对于检验医学人员较为生疏,导致其难以清晰理解 AI 的伦理边界并自觉培养出机器智能的协同方式,检验工作者应适当学习计算思维与计算机方法论^[24],补齐认知上的短板。医务人员跟 AI 并非零和博弈关系,而是将在合作的基础上共同演进。目前来看,AI 时代的检验行业将至少新出现以下两类人才缺口。

4.1 检验数据标注技术员 AI 尚处于弱智能阶段,不同于强智能通过主动向外界获取信息来抽象出合适的处理逻辑,弱智能不具备独立发展的能力,只能被动接受信息的灌输,处理逻辑的修正依赖数据库的

持续更新^[25]。其次,AI 的深度学习算法是一个“黑箱”系统,其内部的数据处理过程无法被监督,输入的数据中加入小小的改变就很容易误导深度学习,获取可靠性高的标注数据成为维护医疗 AI 系统的关键环节。于是,实验室诊断 AI 对数据的强劲需求将催生数据标注产业,需要大量的新型技术人员为检验数据内容打标签、做标记,将“营养高、易消化”的数据“喂”给 AI 模型。这类“饲养员”不要求计算机算法方面过硬的背景或学历,但需要检验医学理论基础和一定的技术管理能力,以便完成标本数据的筛检分类,并参与构建医学诊断知识图谱。

4.2 检验医师 AI 虽能部分模拟人脑的识别、记忆、计算、推理判断等功能,却无法重现情感、信念、联想、创造等高等级思维活动。AI 对疾病的学习侧重于发现关联,而难以理解疾病过程与预测转归。医疗决策是富有创造性和人文关怀的过程,医务人员之间及医患之间的沟通互动所体现出的人类智慧绝非 AI 能取代。在 AI 技术的倒逼下,迟迟未能落地的检验医师的概念回归人们的视野。检验医师作为检验与临床沟通的桥梁,肩负着指导选择检验项目、解答来自医患双方的疑难检验问题、参与病例讨论提供诊断意见、推广新技术新指标等多重职责^[26]。欧美日等国家早年已形成了成熟的检验医师制度,而目前我国检验医师定位模糊,培养明显滞后于检验医学的发展。AI 将检验工作者从日常繁杂的操作中解放出来,使其有精力和时间致力于更高层次的实验室活动,并积极关注外部的需求反馈,深入临床一线开展指导和咨询服务。AI 时代的检查数据量必将极大丰富,各临床专科医生的知识储备面对高通量的检验项目和 AI 给出的诊断概率时必然是浅薄的,检验医师在检验方法与结果评判上将掌握更多话语权,同时带动检验科地位的提高。我国检验医师队伍的发展任重道远,需要国家从长远角度考虑,在检验医师的培养途径和准入机制上加以引导^[27],也需要检验专业医学生和工作者抓住 AI 时代的契机加快能力转型,适应和拥抱 AI 的新技术、新理念。

5 结 语

总之,AI 方兴未艾,检验医学作为一个重要的智能医疗板块正在崛起。随着医联体、移动医疗、精准医疗等新型医疗服务模式的推进,带来了 AI 与检验医学更多的结合点。检验医学智能化的蓝图背后,是以产、学、研多方深度合作为支撑^[28-29]。但必须清醒地认识到,将 AI 领域积累的技术红利释放到检验行业的过程面临着诸多风险和挑战,涉及监管、伦理,以及教育等问题等待求解^[30]。通过 AI 实现检验流程和辅助诊断自动化的前景令人憧憬,但对我国广大检验从业者造成的困境也不容忽视,唯有顺势而上,调整角色定位,将职业规划架设在最新的技术基础设施上才能找到发展机会。期待检验医学学科与检验工

作者一同搭上 AI 的快车,驶向更广阔的成长空间。

致谢:感谢飞利浦(中国)医疗科技有限公司的张恒和南昌大学附属九江医院检验科的陈雪礼对本文提出的宝贵意见和建议。

参考文献

- [1] 钟路,袁景凌,李琳.智能方法及应用[M].北京:科学出版社,2015:65-66.
- [2] 国务院.新一代人工智能发展规划[EB/OL].(2017-07-08)[2018-08-15]http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/201/content_5211996.htm.
- [3] 陈梅,吕晓娟,张麟,等.人工智能助力医疗的机遇与挑战[J].中国数字医学,2018(1):16-18.
- [4] PEEK N,COMBI C,MARIN R,et al. Thirty years of artificial intelligence in medicine (AIME) conferences: A review of research themes[J]. Artif Intell Med, 2015, 65 (1): 61-73.
- [5] 李志勇,李鹏伟,高小燕,等.人工智能医学技术发展的聚焦领域与趋势分析[J].中国医学装备,2018,15(7):136-145.
- [6] 姜凝.天津首家门诊智能采血系统启用[N].天津日报,2017-10-12(A03).
- [7] 杨魁.全国规模最大的全自动智能采血管理系统在成都投入运行[N].成都日报,2017-11-30(A02).
- [8] ESTEVA A,KUPREL B,NOVOA R A,et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks[J]. Nature,2017,542(7639):115.
- [9] BEJNORDI B E,VETA M,VAN DIEST P J,et al. Diagnostic assessment of deep learning algorithms for detection of lymph node metastases in women with breast cancer[J]. JAMA,2017,318(22):2199-2210.
- [10] GULSHAN V,PENG L,CORAM M,et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs[J]. JAMA,2016,316(22):2402-2410.
- [11] 张时民.医学检验领域人工智能技术应用与展望[J].国际检验医学杂志,2018,39(5):513-516.
- [12] 埃里克·托普.未来医疗:智能时代的个体医疗革命[M].杭州:浙江人民出版社,2016:111-113.
- [13] CHABAT F,HANSELL D M,YANG G Z. Computerized decision support in medical imaging[J]. IEEE Eng Med Biol Mag,2000,19(5):89-96.
- [14] 张璐晶,IBM 沃森研究中心:用大数据“思考”[J].中国经济周刊,2015(23):76-78.
- [15] Model Chain:Decentralized privacy-preserving healthcare predictive modeling framework on private blockchain net-

- works[R]. USA: The Office of the National Coordinator for Health Information Technology,2016.
- [16] 张桐硕,任鹤菲,曹瑾,等.基于集成机器学习的卵巢癌多检验指标联合诊断模型[J].临床检验杂志,2018,36(12):908-913.
- [17] LIPPI G,TARGHER G,MONTAGNANA M,et al. Relation between red blood cell distribution width and inflammatory biomarkers in a large cohort of unselected outpatients[J]. Arch Pathol Lab Med,2009,133(4):628-632.
- [18] 丛玉隆.推动“大检验”医学技术全面发展[EB/OL].(2014-08-24)[2018-08-15]https://news.fh21.com.cn/fangtan/fcdh/443059_5.html.
- [19] BEST M G,SOL N,KOOI I,et al. RNA-Seq of Tumor-Educated platelets enables Blood-Based Pan-Cancer, multi-class, and molecular pathway cancer diagnostics [J]. Cancer Cell,2015,28(5):666-676.
- [20] CAPPER D,JONES D T,SILL M,et al. DNA methylation-based classification of central nervous system tumours[J]. Nature,2018,555(7697):469.
- [21] REN Z,LI A,JIANG J,et al. Gut microbiome analysis as a tool towards targeted non-invasive biomarkers for early hepatocellular carcinoma [J/OL]. Gut, [2018-08-23] <http://gut.bmj.com/content/gutjnl/early/2018/07/25/gutjnl-2017-315084.full.pdf>.
- [22] Global glucose monitoring system market forecast 2018-2026[R]. Japan: Inkwood Research,2018.
- [23] 曹晖,顾佳毅.人工智能医疗给外科医生带来的挑战、机遇与思考[J].中国实用外科杂志,2018,38(1):28-33.
- [24] 吴军.智能时代[M].北京:中信出版集团,2016:339-340.
- [25] 魏佳,唐未名,蔡针针,等.人工智能与检验医学[J].临床检验杂志,2018,36(3):200-203.
- [26] 张桐硕,曹梓珍,张寓鑫,等.医学检验本科生参与临床科室实习的探索与体会[J].继续医学教育,2017,31(3):60-61.
- [27] 张竹君,栗薇,邹丽琴.检验医师何去何从[J].国际检验医学杂志,2016,37(5):707-708.
- [28] 周路菡.医学人工智能开始加速产业化[J].新经济导刊,2017(7):18-22.
- [29] Sizing the Prize: What's the real value of AI for your business and how can you capitalise[R]. China: PwC CN, 2017.
- [30] 胡明艳,王彦雨.发展负责任的人工智能[N].学习时报,2018-06-27(A06).

(收稿日期:2018-06-20 修回日期:2018-09-28)