

· 指南与共识 ·

中国医学区块链场景构建及应用指南(2024版)

“十四五”高等教育规划教材智能医学系列教材编委会,中国计算机学会区块链专业委员会,中国老年医学学会数字诊疗分会

【关键词】 医学区块链;大数据;人工智能;临床应用;指南

【中图分类号】 R05;TP311.13

【文献标志码】 A

【DOI】 10.11915/j.issn.1671-5403.2024.07.105

信息技术的发展带来了时代的进步,以人工智能、大数据、云计算、区块链、元宇宙等为代表的新技术与医学的交叉融合促进了智能医学时代的到来。其中,区块链技术因其可信任、不可篡改、可溯源、隐私性强的特点而引发各行业关注,被誉为继蒸汽机、电力、信息和互联网技术之后最有潜力触发第五轮颠覆式革命浪潮的核心技术^[1-3]。我国政府及相关部门高度重视并积极布局区块链产业,2019年10月24日,中共中央政治局进行第十八次集体学习,习近平总书记在主持学习时强调区块链技术的集成应用在新的技术革新和产业变革中起着重要作用,我们要把区块链作为核心技术自主创新的重要突破口,要加强区块链标准化研究,提升国际话语权和规则制定权^[4]。2021年6月,国务院办公厅《关于推动公立医院高质量发展的意见》提出“推动云计算、大数据、物联网、区块链、5G等”新一代信息技术与医疗服务深度融合^[5]。区块链技术在医疗领域的应用将重构医患之间、医师之间、医院之间、以及医疗机构与监管部门之间的价值信任体系,构建可溯源、信任度高、隐私加密的医疗数据共享与价值释放生态模式。本文通过对医学区块链的发展进行概述,对其技术原理和标准流程进行解析,总结国内智慧医疗领域内的专家意见,形成医学区块链场景构建和应用标准指南,旨在介绍区块链在医疗领域应用及标准化流程。

1 指南制定过程

1.1 制定单位

《中国医学区块链场景构建及应用指南(2024版)》是由“十四五”高等教育规划教材智能医学系列教材编委会、中国计算机学会区块链专业委员会、中国老年医学学会数字诊疗分会组织,国内多家

权威医疗机构联合发起,由中国电子技术标准化研究院和工业和信息化部电子第五研究所指导完成。启动时间为2022年6月31日,定稿时间为2023年12月16日。

1.2 制定原则

本指南的撰写坚持具有示范性、可借鉴性和可推广性等原则,在区块链医疗应用的推广与实践基础上,结合现代医疗机构具体业务流程确定区块链技术应用范围,设计符合国家基本公共卫生服务规范的工作要求^[6]。

1.3 适用人群

本指南适用于对医学区块链场景构建有需求的机构和组织,以及我国与区块链、医疗信息化、智能医学、智慧医疗场景构建相关的医疗机构管理者、临床医师、政策制定者、科技公司、第三方机构从业人员等。

1.4 制定成员

本指南的制订工作组由外科医师、内科医师、药剂师、信息科人员、医院管理者、卫生健康委员会、指南方法学家、公共卫生专家、医学编辑、区块链专家、软件工程师、网络空间安全技术人员、系统研发人员等涉及智慧医疗的众多行业专家组成。

1.5 指南注册

本指南已在国际实践指南注册与透明化平台(Practice Guideline Registration for Transparency, PREPARE, <http://www.guidelines-registry.cn>)进行了中英文双语注册,注册编号为PREPARE-2023CN637。

1.6 推荐意见形成

一般情况下,指南根据国际GRADE标准证据质量与推荐强度分级,考虑到本指南的应用场景特殊,为方便医院管理者、医务人员和技术人员快速

收稿日期:2023-12-19;接受日期:2024-01-19

基金项目:国家自然科学基金(82172524,81974355);湖北省人工智能重大专项(2021BEA161);国家级创新平台培育计划(2020021105012440)

通信作者:叶哲伟, E-mail: yezhewei@hust.edu.cn;王庆, E-mail: wangqing.sj.hb@chinaccs.cn;曹丰, E-mail: fengcao8828@163.com;陈孝平, E-mail: chenxpchenxp@163.com

明确相关建议,本指南仅呈现推荐强度分级^[7]。推荐强度用☆表示,☆越多,代表推荐强度越高(表1)。技术及应用评价组对每个医疗应用场景的需求和必要性进行整理,专家委员会在考虑成熟度、需求度、可及性和利弊平衡等基础上,形成推荐建议。于2023年8月25日对未达成共识的1条推荐意见及3条修改措辞后的推荐意见进行了德尔菲调研,最终全部推荐意见达成共识(共识度大于80%)。

表1 共识度与推荐强度分级关系

共识度	≥80%且<90%	≥90%且<100%	100%
推荐强度分级	☆	☆☆	☆☆☆

1.7 同行评议

本指南在发布前进行了中华医学会老年医学分会、中国研究型医院协会、中国计算机学会区块链专业委员会的同行评议,并对评审意见进行了回复和修改。证据评价组和秘书组参照 RIGHT-PVG 撰写指南初稿,并将初稿交由外审组专家进行审阅。针对外审组提出的修改意见,对初稿进行讨论、修改和完善,最终形成指南终稿,并交由专家委员会批准。

1.8 传播及实施

本指南出版后,将通过学术会议或学习班等方式进行传播和实施。具体包括:(1)在国内外区块链会议和智能医学课程及培训班上传播1~2年;(2)本指南的正文将以报纸、期刊、单行本、手册等形式出版传播;(3)本指南将以中、英文方式宣传,并在中华医学杂志(英文版)、中国医院管理、区块链服务网络官方网站传播;(4)针对本指南的实施和评价,拟通过发布本指南相关解读文章进一步促进指南的实施。本指南全文优先在《中华老年多器官疾病杂志》发表。同时,指南制订小组将根据具体情况适时进行更新,以保证指南的适用性。

2 区块链技术介绍

区块链最先在2008年由名为“Satoshi Nakamoto(中本聪)”的学者(或团队)在其发表的文章《Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System》进行了描述。目前,区块链技术被普遍认为是利用加密链式区块结构来验证与存储数据、利用分布式节点共识算法来生成和更新数据、利用智能合约来操作数据的全新去中心化基础架构与分布式计算范式^[1-3,8,9]。

区块链具有去中心化、可追溯性、不可篡改、可编程和安全可信等特点^[1,3,10,11]。区块链数据的验证和传输过程采用纯数学方法来建立分布式节点间

的信任关系,从而形成去中心化的可信任的分布式系统。区块链采用带有时间戳的链式区块结构存储数据,从而为数据增加了时间维度,具有极强的可验证性和可追溯性^[1,3]。在安全可信方面,借助各节点的工作量证明等共识算法形成的强大算力来抵御外部攻击,可以为医疗领域带来深刻变革^[12,13]。

在框架和结构上,区块链可分为六层(图1)。数据层包括一系列的加密和存储技术;网络层主要是使用点对点网络来完成通信和确认的机制;激励层涉及到分配和发行机制;共识层则保证了分布式系统的一致性^[3,8];合约层通过算法机制和智能合约规定彼此的权限和功能范围,实现数据的授权访问;应用层在客户端执行数据核算、交易和支付转移以及验证功能。作为一种多种类别学科交叉融合而产生的分布式账本技术,区块链是应用数学、密码学、信息学、计算机技术等集合,在应用过程中主要涉及点对点传输、非对称加密、共识机制、智能合约、多方安全计算等技术的使用。

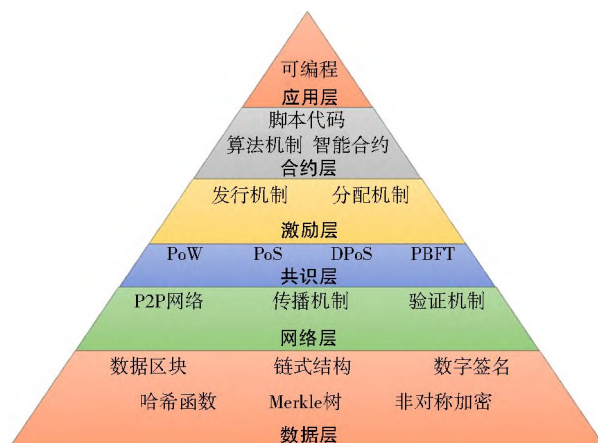


图1 区块链系统架构

PoW: 工作量证明; PoS: 权益证明; DPoS: 权益授权证明; PBFT: 实用的拜占庭式容错性; P2P: 点对点网络。

3 医学区块链的概念

医学区块链主要是指以区块链技术为数据交易和价值释放的数字底座,在医疗场景下实现各授权节点间数据安全互通、公平交易、隐私保护的技术体系^[2,3,8]。在医学领域,由于区块链具有去中心化、时序性和安全可信等特征,可将其运用于构建医疗数据管理与共享模型、设计可查询且防篡改的数据库、创建电子医疗病历存储与共享方案、建立医疗数据的联盟式区块链系统实现多中心医疗和科研数据共享等^[13]。基于区块链的医疗服务监管平台存储系统,采用分布式存储方案实现在线医疗服务的全

程留档追溯且不可更改,能确保线上诊疗活动的医疗质量与安全^[14-16]。在医疗场景中,各节点通过区块链存储医疗数据包,利用智能合约跟踪对数据的所有操作,通过验证后再实现数据安全共享,防止数据隐私泄露^[17-19]。区块链技术的去中心化和分布式存储特性可保证数据信息的公开透明性和数据流的完整可靠性,这种可追溯和数据防篡改的特点可以有效解决供应链中的假冒伪劣问题,并实现举证和追责,解决各参与方的纠纷^[20,21]。此外,基于区块链进行数据存储与交易带来了许多优势,其中海量数据由中心化变为去中心化构成了医疗大数据价值释放的前提。在基于区块链平台系统隐私、安全、加密的环境中,将区块链、数据库与人工智能融合实现医疗数据分布式存储,扩大机器学习的规模。在这种模式下,可以有效确保数据不出域条件下的大数据驱动的知识迁移学习,实现加密共享的疾病模型构建、智能诊断和预测、医学图像辅助阅读、远程智能监测、新药研究、老年及慢病患者健康管理等^[22-24]。

4 医学区块链相关协议

一般来说,区块链可分为公有链、私有链、联盟链^[1,7,14]。其中,联盟链将去中心化特性缩小到了加入联盟的组织之间,在目前的社会环境下应用环境更为广泛。共识协议作为区块链的核心之一,可确保所有节点在网络中就交易的有效性和顺序达成一致意见。在医学联盟链中,可以使用相关共识算法来确保医学区块链网络的安全性、性能和可靠性。在证书管理协议方面,可使用分布式轻量级证书管理协议、分布式证书管理协议、基于区块链的去中心

化身份认证与密钥管理协议等方式来保证证书的有效管理^[24-26]。

5 医学区块链标准化现状

随着区块链的迅速发展以及在医疗健康领域逐步应用,需要探索和建立一套面向医疗领域的区块链安全技术规范,为医疗机构提供参考。2021年,国家卫生健康委员会《关于加强全民健康信息标准化体系建设的意见》指出,要探索医疗健康区块链技术应用标准化建设,探索研究区块链在医疗健康领域应用场景,加快研究制定医疗健康领域区块链信息服务标准^[27]。2022年,国家卫生健康委员会发布《医疗机构设置规划指导原则》,指出要大力推进智慧医院建设和医院信息标准化建设^[28]。截止至2023年12月,本研究团队共检索到区块链技术标准共计83项。其中,目前共有国家标准8项,国标计划12项,行业标准10项,地方标准32项,ISO国际标准21项^[29,30]。在医疗领域,尚无相关标准和技术指南。

6 医学区块链行业应用技术标准

6.1 医学区块链标准体系框架

在技术架构上,医学区块链信息系统构建包含数据层、区块链层、应用层、业务层和表现层。其中区块链又分为6个层级(图2)。在不改变原先医院信息系统架构的情况下,利用区块链系统的应用层和数据层做链接,将区块链系统整体集成进医院的信息架构中,是解决现代医院信息互联互通互认的第一步。

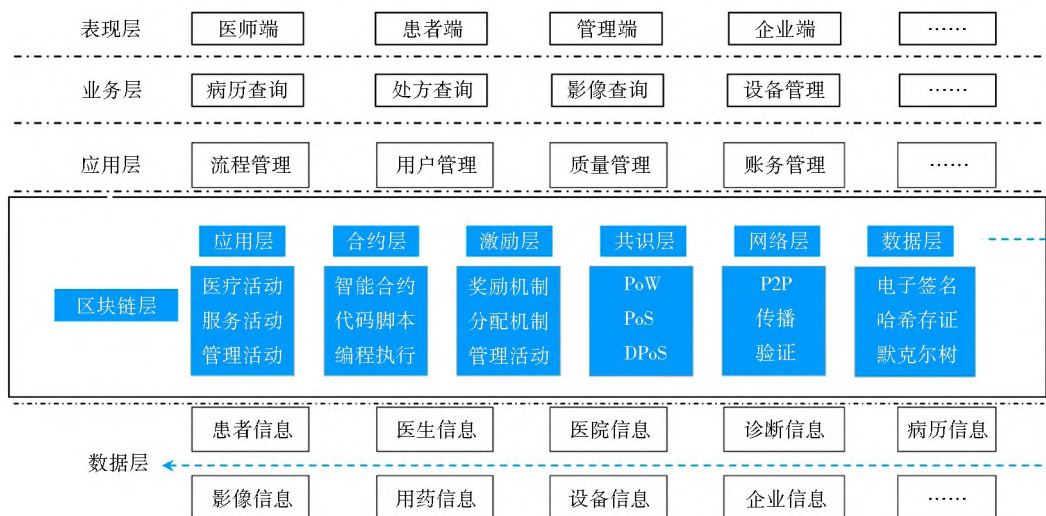


图2 医学区块链信息系统集成

PoW: 工作量证明; PoS: 权益证明; DPoS: 权益授权证明; P2P: 点对点网络。

6.2 医学区块链相关技术规范

2023年5月23日,全国信息安全标准化技术委员会发布国家标准《区块链和分布式记账技术参考架构》^[31],为医学区块链的进一步开展和实施提供了思路。在结合医疗大数据进行区块链场景构建时,目前可参照GB/T 22081《信息安全控制实践指南》、GB/T 31168《云计算服务安全能力要求》、GB/T 35274《大数据服务安全能力要求》、GB/T 37964《个人信息去标识化指南》、GB/T 39725《健康医疗数据安全指南》、地方标准DB51/T 2989-2023《四川省健康医疗大数据指南》和DB13/T 5602-2022《医学影像学大数据智能应用技术指南》进行医疗场景的架构设计。

7 区块链医疗应用场景推荐及建议

7.1 医疗数据存储共享

7.1.1 区块链电子病历存储 患者跨地域跨机构进行医疗就诊时,由于各医疗机构间存在“信息孤岛”,彼此间医疗信息并不互通。基于区块链技术构建去中心化分布式交互的临床病历数据库,以实现安全和高效的电子病历共享,既可以避免云存储共享时数据中心化容易泄露的风险,又可以实现加密共享、防篡改、抵抗攻击的功能^[32-36]。患者端可在业务平台授权医师对以往病历进行访问,各级医院将患者每次的就诊记录和病情通过区块链存储在网络节点中,方便随时调取,同时避免丢失。

【推荐意见】

技术成熟度相对高,强烈推荐。推荐强度:☆☆☆。推荐框架:可使用云链协同、患者可控的电子病历安全存储方案,通过和星际文件系统结合,在区块链中存储数据加密索引,而在星际文件系统中存储医疗病历数据,即采用“链上索引,链下存储”的存储模式。采用代理重加密技术,在联盟链环境下通过智能合约执行代理重加密过程,实现数据加密索引在加密状态下的解密密钥转换,保护医疗数据隐私同时完成病历数据共享。各级医院形成联盟区块链,通过形成共识意见实现数据的访问权限控制。将分布式密钥生成技术与基于类型和身份的代理重加密方案相结合,实现用户之间数据的安全存储共享^[37,38]。同时,建议在方案中实现让数据拥有者通过对电子健康记录类型的分类实现细粒度的访问控制策略。

7.1.2 区块链电子处方审核 在临床场景中,为了避免电子处方的开具存在伪造情况和加快处方审查效率,可基于区块链进行电子处方的防伪性记录和

流转。基于区块链的处方综合服务平台可链接患者、医院、药企、药店、监管部门等多个节点。采用共识机制实现多主体的分布式记账,从处方开具、处方审核到处方流转、药品配送等全流程上链,各节点拥有诊断信息、处方信息、药品配送等信息,实现全流程的信息安全和数据审核^[39]。对于药剂师、临床医师、患者而言,将电子病历进行上链,确保健康记录的真实性,避免了责权纠纷和特殊药品的滥用。

【推荐意见】

技术成熟度相对高,强烈推荐。推荐强度:☆☆☆。推荐框架:框架层需提供处方综合平台所需的区块链节点、分布式账本等相关基础支持。平台可分为处方审核中心、处方流转中心、药事服务中心及平台管理中心。基础服务包含各个节点数据的信息上链、相关内容的发布和查询等功能。运维部分主要负责监管节点、查询相关数据信息及实现节点信息的可追溯^[40-42]。各节点需配备本地副本,当出现数据被篡改时需及时进行修复。应用层为各个平台用户提供基于区块链的处方综合服务平台应用服务,包括医师对患者的在线问诊、电子处方的信息审核、处方的安全流转、药品的及时配送以及相关部门的流程监管等。

7.2 医疗数据授权使用

7.2.1 区块链跨区域医保报销 2020年10月,中共中央、国务院《关于深化医疗保障制度改革的意见》提出,到2030年底实现医保治理现代化水平显著提升^[43]。如何提升业务办理效率、增强监管智能化手段成为医保事业发展亟待解决的问题。应用“区块链+医保”实现相关电子凭证和身份认证,优化医保支付结算和业务自动化审批等场景,提升业务运行效率和执行效率,改善用户体验,降低运营成本和风险^[44]。患者将个人信息登记到区块链医保平台,在异地即可实现医保报销和药品取用,其健康记录在去中心化平台记录。本地医师通过申请权限即可访问历史资料和医保情况,医保局和管理部门对于其医保使用情况进行及时汇总。

【推荐意见】

技术成熟度相对较高,一般推荐。推荐强度:☆☆。推荐框架:区块链跨区域医保平台使用代理节点彼此相连构成医保链底层网络,形成“网络与代理节点层”。各区域的医保定点医院、定点药店、医保机构将自身的业务通过代理节点的医保接口接入网络形成彼此协作的业务节点层。通过医保智能合约的方式,医保机构分别与定点医院和定点药店签署第三方协议,开展医保业务。医疗数据可在医保链中以分布式账本方式被各区域代理节点存储和相互共

享。利用代理节点将互认区域的医院信息系统、医保通、医保智能控制台接入医保链网络完成数据交换和业务办理^[45]。全国范围内由国家出台统一的完整方案和技术规范,并完成核心技术框架和核心代码的编写及区块链创世节点的架设。

7.2.2 区块链互联网远程医疗 互联网医院的发展是大势所趋,由于互联网医院数据类型包含文字描述、检查报告单、穿戴式设备医疗数据、处方等多种数据类型,数据的及时共享和存储是亟待解决的问题^[46,47]。区块链中的共识机制和智能合约能够打造透明可信任、高效低成本的应用场景,构建实时互联、数据共享、联动协同的使用机制,从而优化医疗服务^[48-50]。患者在互联网医院平台的问诊记录和用药情况会记录到区块链系统,线下医院通过权限调阅可帮助患者知悉病程。医师可在线下将慢性疾病诊疗转移到互联网医院开展业务咨询,缓解线下医疗资源紧张情况。

【推荐意见】

技术成熟度相对较高,一般推荐。推荐强度:☆☆。推荐架构:基于区块链的远程医疗信息系统可提供加密通信、身份验证和访问控制,以确保用户的数据和交易安全。在身份确认方面,使用医护身份认证系统,为远程医疗提供安全、可信和便捷的身份验证和数据共享机制。在隐私保护上,患者的个人信息被加密存储在区块链上,只有授权的参与方才能访问和使用这些信息。在业务授权方面,基于区块链的数字身份实现各类医疗信息如病历资料、检验检查结果、影像数据、诊断、用药等的安全传输和授权访问。在远程医疗过程中,电子就诊病历数据可通过公钥和私钥相互验证的方法实现访问授权,通过登录密令、指纹识别或者面部识别等组合方式得出私钥验证签名^[51,52]。

7.2.3 区块链器官捐献与移植 近年来,我国器官移植相关单位及个人遵循《人体器官移植条例》《刑法修正案》和《规定》等法律规范和框架,器官移植事业取得重大进展。2015-01-01至2023-07-09已累计成功捐献46519例^[53]。目前我国主要使用中国人体器官分配与共享计算机系统(COTRS)实施器官分配,其中从捐献到移植的时间跨度成为了手术成功的重要因素,存在信息匹配难度大、供受体前期信息不互通导致移植时间延误等问题。基于区块链的器官捐献与移植平台可加速捐献相关信息的共享与溯源,实现捐献器官自动匹配和上链信息不可篡改^[54]。对于需要供体的患者及家属,通过在区块链平台登记受体病情资料确保其真实性,全网广

播后在平台进行供体查找与搜寻。医师将供体和受体健康资料进行匹配,可对供体来源、受体病情、后期的康复信息上链存储。

【推荐意见】

技术成熟度尚低,有待进一步探索。推荐强度:☆。推荐架构:平台系统需包括信息获取模块、器官匹配模块、匹配结果写入模块。信息获取模块用于从区块链中获取器官捐献方的捐献信息以及器官接受方的需求信息。器官匹配模块用于将捐献信息与需求信息进行匹配,生成用于指导器官移植的器官匹配结果。匹配结果写入模块用于将器官匹配结果写入区块链中,以使医院机构和器官捐献机构获取器官匹配结果。请求信息包括受捐者器官的基本信息,根据请求信息进行全网比对,确认出相匹配的捐献信息。无论器官捐献信息、器官需求信息,还是最终的匹配结果,均写入区块链,确保上链信息不可篡改性。

7.2.4 区块链临床与生物医学研究 临床和生物医学科研平台信息化建设是现代医院投入的重点。在跨机构医学研究中,构建信息抽取模型需要大量的标注数据,可增强数据模型的泛化和鲁棒性^[55-58]。医疗领域受限于合规性要求,通常是进行中心化数据治理,这限制了多中心研究数据的彼此赋能。区块链分布式地连接与构建多中心科研数据平台,使得医疗数据在合规的前提下彼此共享^[59-62]。基于区块链的科研信息存储与应用,可实现医疗大数据模型训练、多中心队列研究、特殊疾病数据共享、科学研究合规透明^[63-66]。在区块链平台,在获得患者的知情同意后,通过积分制鼓励患者将病情资料脱敏后存储在医院临床科研平台。各科室医师通过申请,可通过数据清洗构建罕见病专病数据库。此外,还可通过人工智能和隐私计算进行深度学习,构建多中心联盟链赋能的医疗大模型构建。

【推荐意见】

技术成熟度相对较高,一般推荐。推荐强度:☆☆。推荐框架:区块链驱动的科研信息共享平台中,可设计并使用共识机制使区块链内各节点临床和影像信息实现共享。系统可通过区块链技术建立智能合约管理系统,实现临床疾病诊疗和生物医学研究质量管理的多方协同计算,确保合约执行的可控性与可追溯性,使得数据交换充分信任、来源可靠、质量可控。共识机制通过评估临床科室数据的节点信任度,识别并授权获取节点上传的有效信息,实现医疗大模型算法训练和参数汇总。利用区块链完成科研

信息共享时,通过解密中心提供公私钥提升科研信息共享的安全性^[67,68]。整体业务的基础层将节点数据进行脱敏、清洗和分类标注,能力层则实现分布式存储并交由区块链隐私计算平台进行数据训练和安全求交。应用层面上,将数据接口布设到各级医院专病节点,模型参数汇总和收敛后应用于临床疾病辅助诊疗^[69-72]。

7.2.5 区块链公共卫生管理与防疫 在应对突发公共卫生事件时,各个部门和医院之间数据的不互通容易导致部分特殊类型疾病的上报和处理出现滞后。通过构建基于区块链的公共卫生监管平台和疫情防护体系,可实现疾病预警监测、数据加密共享、智能授权访问、医疗物资捐赠与管理透明化^[73-75]。医师在区块链平台记录的患者用药信息、既往史、流行病学可在疫情期间得到调用。针对药品的使用,实现实名制登记并赋予区块链时间戳信息,避免虚报瞒报和隐瞒病情。

【推荐意见】

技术成熟度相对高,强烈推荐。推荐强度:☆☆☆。推荐框架:在公共卫生事件管理中,基于区块链时间戳赋能数据生态治理、利用其去中心化赋能多主体协同参与、智能合约赋能信息可信共享^[76]。主管部门、医院和相关资质的医务人员等作为独立成员加入区块链,通过权限对信息进行分级访问控制。系统框架利用基于区块链的医疗数据开放共享模型架构,数据存储层通过多源异构的医疗数据信息,数据协同层借助区块链的智能合约和共识机制等技术实现传染病数据的自动化记录与安全传输。平台数据主要汇集各级公共卫生应急情报机构和其他政府部门的应急情报数据。各个业务数据平台通过应用程序接口对接的方式向公共卫生安全应急情报协同共享平台提供共享所需的应急情报原始数据。

7.3 医疗业务溯源管理

7.3.1 区块链药品及耗材溯源管理 假药危害人体健康,伪劣医药耗材影响患者预后。目前的医药防伪溯源系统的所有数据都保存在中心数据库内,溯源认证采用中心记账模式,数据在上传、存储、查询等一系列操作中有被篡改的可能。区块链去中心化、串联的哈希值、以及证书认证的账号体系、链码功能可很好地用于药品溯源^[77-79]。与传统的医药管理平台相比,基于区块链的医药冷链数字化平台具有高效协同、安全可靠等优点,适用于从药品耗材的生产、存储、物流到使用的多阶段跟踪管理。患者可在区块链平台查询药械的全链条信息,避免购买使用虚假药品和器械。

【推荐意见】

技术成熟度相对高,强烈推荐。推荐强度:☆☆☆。推荐框架:药品和耗材溯源管理系统可根据药品生产、流通各环节节点的功能模块需求设计智能合约,实现药械的溯源与可信流转^[80-82]。系统平台可依据功能需求将药械生产方、经销商、医院、药房作为节点纳入管理,依据智能合约授权各节点对数据来源访问权限,在可信环境下运输、出售、采购、使用相关药品和器械,保证药械有效性和患者安全。必要时,将国家食品药品监督管理局、国家医保局、国家卫生健康委员会的各级单位纳入监管体系,并将系统平台与司法链对接,实现耗材和药品价格公正、公开、透明化使用^[83,84]。

7.3.2 区块链医疗考核与财务管理 医疗考核和财务管理对于医院的发展至关重要,其管理效能的提升是医院精细化管理的需要。基于区块链搭建医疗质量和收入管理平台,通过对医疗费用结算业务、医疗收入核算业务、应收医疗款业务和科研经费报销的流程重塑,来提升医疗财务管理效率。通过大数据、程序算法和智能合约等的耦合并用,有效化解人工审核的低效性和延迟性。患者的缴费记录和明细将对应到药品和器械信息,帮助更好地了解使用情况。医务人员能够实现医疗质量与收入相匹配的自动化管理,减少虚假经费报销,大幅缩短记账周期^[85]。

【推荐意见】

技术成熟度相对较高,一般推荐。推荐强度:☆☆。推荐框架:基于区块链技术的医院财务管理平台可以将医院财务管理中的结算、开票、对账、制证等业务以代码形式植入区块链,利用智能合约和节点共识设置相应的触发条件,实现全流程的自动化处理。在数据层将医务人员的日常考核与绩效进行记录,由医院管理层面负责审核确认。在业务层,将费用报销、收入分配、手术质量等内容进行串联,实现多层次透明管理。监管单位节点可授权访问相关业务数据,减少医疗滥用和违规现象发生。系统整体可采取联盟链的方式,将医联体及医疗集团业务进行分级整合,缩短年终财务汇总处理周期。在此过程中,需要根据各地区及医院的财务决算系统特点进行适配性改造和建设。

7.4 医疗知识产权确权

区块链技术具有不可篡改、防伪可追溯、分布式记账技术及非对称加密算法等技术特点,和医学数字版权保护具有天然契合之处^[86]。2019年3月,中国版权保护中心发布 DCI (Digital Copyright Identifier) 标准联盟链,该平台能为高等医学院校及教师提供

版权登记确权、取证、维权等服务,极大简化版权保护流程。基于区块链的医疗数字知识产权保护平台将实现医学数字版权登记、版权交易和版权维权,保护医务工作者的数字知识产权(数据库、手术方案、专利、器械产品等)^[87]。此外,科研文章和手术教学视频在传播时,也将通过区块链系统进行分布式加密存储,这对于实现科研诚信和点对点的科研成果转化具有重要的价值^[88]。

【推荐意见】

技术成熟度相对高,强烈推荐。推荐强度:☆☆☆。推荐框架:其结构由中继链、平行链和转接桥组成。中继链是整个版权保护及交易网络的中枢神经系统,协调各个平行链间的共识、交易。平行链由开发者构建,可以收集和交易。平行链可设置为展示各个类型作品的链。在监管层面,服务的链上节点是监管部门和仲裁部门两类角色,采用双通道的方式选择性地实现数据传输和隔离,帮助用户进行医学数字版权的确权与维权。相关模型可采用链上存储元数据,链下存储作品源的形式缓解数据增长压力。

利益冲突:无

指南制定与审核专家委员会

主任委员:陈孝平,叶哲伟

副主任委员(按姓氏拼音排序):曹丰,陈惟蓓,崔巍,冯东雷,季国忠,林哲安,孟庆虎,罗敏,罗奕龙,吕维佳,秦彦国,秦锡虎,斯明雪,覃兵,田志宏,王庆,王晨辉,吴维刚,相里朋,姚庆强,于广军,叶达伟,张秀梅,赵赫,郑子彬,曾承,张巍,周其如,臧培卓

指南撰写工作组

组长:陈孝平,曹丰,王庆,叶哲伟

执笔专家:谢毅,叶哲伟,曹丰,卢赓,赵赫

指南讨论专家(按姓氏拼音排序):曹丰(解放军总医院第二医学中心 & 国家老年疾病临床医学研究中心);曾承(武汉泰乐奇信息科技有限公司);陈惟蓓(澳门仁伯爵综合医院);陈吴荣(万宁市人民医院);陈孝平(华中科技大学同济医学院附属同济医院);崔巍(华南理工大学自动化学院);蔡敏(海南省中医院);邓杨(孝感市第一人民医院);冯东雷(上海信医科技有限公司);高粱(厦门天允星途医疗科技有限公司);郗勇(华中科技大学同济医学院附属协和医院);龚文涛(江西省人民医院);郭征(空军军医大学唐都医院);何彬(上海简苏网络科技有限公司);何德彪(武汉大学国家网络安全学院);胡国梁(中国老年医学学会数字诊疗分会);胡勇(宁波市第六医院);黄东臣(湖北嘉一三维高科股份有限公司);黄菊芳(中南大学湘雅医学院);黄必强(人民卫生出版社数字医学研发转化基地);黄伟(重庆医科大学附属第一医院);季国忠(南京医科大学第二附属医院);季劼(南京医科大

学第一附属医院);匡翌婕(武汉天喻信息产业股份有限公司);雷青(长沙市第三医院);李慧武(上海交通大学医学院附属第九人民医院);李颀(上海交通大学);李京(中国科学技术大学计算机科学与技术学院);李开南(成都大学临床医学院附属医院);李志(广东工业大学);林哲安(台湾国际医学科学研究院);刘跃洪(德阳市人民医院);卢赓(湖北邮电规划设计有限公司);鲁通(北京维卓致远医疗科技发展有限责任公司);陆声(云南省第一人民医院);罗敏(武汉大学国家网络安全学院);罗奕龙(澳门特别行政区政府卫生局);吕维加(香港大学);孟庆虎(南方科技大学);庞清江(宁波市第二医院);彭诗杰(湖北邮电规划设计有限公司);秦锡虎(常州市第二人民医院);秦彦国(吉林大学白求恩第二医院);邱冰(贵州省骨科医院);桑宏勋(南方医科大学深圳医院);单清(扬州大学附属医院);斯雪明(中国计算机学会区块链专业委员会);孙永强(河南省骨科医院);覃兵(中国电信武汉分公司);谭山(华中科技大学人工智能与自动化学院);田志宏(广州大学网络安全学院);王晨辉(中国电子技术标准化研究院);王凯(翼健上海信息科技有限公司);王庆(湖北邮电规划设计有限公司);王毅(海南医学院第二附属医院);温孝如(江西省人民医院);郗江新(武汉蓝星软件技术有限公司);吴维刚(中山大学计算机学院);相里朋(工业和信息化部电子第五研究所);肖璇(武汉大学人民医院);谢毅(华中科技大学同济医学院附属协和医院);熊鑫茗(华中科技大学同济医学院附属协和医院);徐波(重庆大学附属肿瘤医院);许金林(安徽中科晶格技术有限公司);姚庆强(南京医科大学附属南京医院);叶达伟(华中科技大学同济医学院附属同济医院);叶哲伟(华中科技大学同济医学院附属协和医院);于广军(香港中文大学深圳医学院);臧培卓(辽宁省人民医院);曾承(武汉泰乐奇信息科技有限公司);张巍(解放军总医院第一医学中心);张秀梅(北京万方医学信息科技有限公司);张元智(内蒙古医科大学附属医院);赵赫(中国科学院合肥物质科学研究院);赵猛(湖北省十堰市太和医院);郑子彬(中山大学软件工程学院);钟达(中南大学湘雅医院);周非非(北京大学第三医院);周其如(广东省第二人民医院);朱钦森(华中科技大学机械学院);郗均(广州运通链达金服科技有限公司)

秘书:谢毅(华中科技大学同济医学院附属协和医院)

【参考文献】

- [1] 袁勇,王飞跃.区块链技术发展现状与展望[J].自动化学报,2016,42(4):481-494. DOI: 10.16383/j. aas. 2016. c160158.
- [2] Fatoum H, Hanna S, Halamka JD, et al. Blockchain integration with digital technology and the future of health care ecosystems: systematic review [J]. J Med Internet Res, 2021, 23(11): e19846. DOI: 10.2196/19846.
- [3] Xie Y, Zhang J, Wang H, et al. Applications of blockchain in the medical field: narrative review [J]. J Med Internet Res, 2021, 23(10): e28613. DOI: 10.2196/28613.
- [4] 中华人民共和国中央人民政府.习近平主持中央政治局第十八次集体学习并讲话(2019年)[EB/OL].(2019-10-24).

- https://www.gov.cn/xinwen/2019-10/25/content_5444957.htm.
- [5] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院办公厅关于推动公立医院高质量发展的意见国办发〔2021〕18号(2021年)[EB/OL]. (2021-06-04). https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-06/04/content_5615473.htm.
- [6] 国家卫生健康委基层卫生健康司. 国家卫生健康委关于印发《国家基本公共卫生服务规范(第三版)》的通知国卫基层发〔2017〕13号(2017年)[EB/OL]. (2017-03-28). <http://www.nhc.gov.cn/jws/s3578/201703/d20c37e23e1f4c7db7b8e25f34473e1b.shtml>.
- [7] 陈耀龙, 杨克虎. 正确理解、制订和使用临床实践指南[J]. 协和医学杂志, 2018, 9(4): 367-373.
- [8] 袁勇, 倪晓春, 曾帅, 等. 区块链共识算法的发展现状与展望[J]. 自动化学报, 2018, 44(11): 2011-2022. DOI: 10.16383/j.aas.2018.c180268.
- [9] 谢毅, 叶哲伟. 区块链技术的医学应用现状与前景[J]. 临床外科杂志, 2020, 28(4): 304-307.
- [10] 中华人民共和国中央人民政府. 区块链:给你一个可信赖的世界(2016年)[EB/OL]. (2016-12-05). https://www.gov.cn/xinwen/2016-12/05/content_5142997.htm#1.
- [11] 中华人民共和国国务院公报. 国家互联网信息办公室令(第3号)区块链信息服务管理规定[EB/OL]. (2019-01-10). https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5392298.htm.
- [12] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于进一步完善医疗卫生服务体系的意见》(2023年)[EB/OL]. (2023-03-23). <http://www.nhc.gov.cn/wjw/mtbd/202303/907f9fa34dbd4db19e931df398f1e6f3.shtml>.
- [13] 湖北省人民政府. 第二届区块链服务网络(BSN)全球技术创新发展峰会在汉举办(2023年)[EB/OL]. (2023-06-09). http://www.hubei.gov.cn/hbfb/rdgz/202306/t20230609_4702568.shtml.
- [14] 中国通信学会. 区块链技术前沿报告(2020年)[EB/OL]. <http://www.china-cic.cn/detail/22/15/2829/>.
- [15] Dubovitskaya A, Baig F, Xu Z, *et al.* ACTION-EHR: patient-centric blockchain-based electronic health record data management for cancer care[J]. J Med Internet Res, 2020, 22(8): e13598. DOI: 10.2196/13598.
- [16] Xiao Y, Xu B, Jiang W, *et al.* The HealthChain blockchain for electronic health records: development study[J]. J Med Internet Res, 2021, 23(1): e13556. DOI: 10.2196/13556.
- [17] Johnson M, Jones M, Shervey M, *et al.* Building a secure biomedical data sharing decentralized App (DApp): Tutorial[J]. J Med Internet Res, 2019, 21(10): e13601. DOI: 10.2196/13601.
- [18] Zhu X, Shi J, Lu C. Cloud health resource sharing based on consensus-oriented blockchain technology: case study on a breast tumor diagnosis service[J]. J Med Internet Res, 2019, 21(7): e13767. DOI: 10.2196/13767.
- [19] Dubovitskaya A, Novotny P, Xu Z, *et al.* Applications of blockchain technology for data-sharing in oncology: results from a systematic literature review[J]. Oncology, 2020, 98(6): 403-411. DOI: 10.1159/000504325.
- [20] Shahzad A, Zhang K, Gherbi A. Intuitive development to examine collaborative IoT supply chain system underlying privacy and security levels and perspective powering through proactive blockchain[J]. Sensors (Basel), 2020, 20(13): 3760. DOI: 10.3390/s20133760.
- [21] Mackey TK, Miyachi K, Fung D, *et al.* Combating health care fraud and abuse: conceptualization and prototyping study of a blockchain antifraud framework[J]. J Med Internet Res, 2020, 22(9): e18623. DOI: 10.2196/18623.
- [22] Jin XL, Zhang M, Zhou Z, *et al.* Application of a blockchain platform to manage and secure personal genomic data: a case study of LifeCODE. ai in China[J]. J Med Internet Res, 2019, 21(9): e13587. DOI: 10.2196/13587.
- [23] Esmailzadeh P. Evolution of health information sharing between health care organizations: potential of nonfungible tokens[J]. Interact J Med Res, 2023, 12: e42685. DOI: 10.2196/42685.
- [24] Jung SY, Kim T, Hwang HJ, *et al.* Mechanism design of health care blockchain system token economy: development study based on simulated real-world scenarios[J]. J Med Internet Res, 2021, 23(9): e26802. DOI: 10.2196/26802.
- [25] Motohashi T, Hirano T, Okumura K, *et al.* Secure and scalable mHealth data management using blockchain combined with client hashchain: system design and validation[J]. J Med Internet Res, 2019, 21(5): e13385. DOI: 10.2196/13385.
- [26] 曾诗钦, 霍如, 黄韬, 等. 区块链技术研究综述:原理、进展与应用[J]. 通信学报, 2020, 41(1): 134-151. DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2020027.
- [27] 国家卫健委规划发展与信息化司. 关于加强全民健康信息标准化体系建设的意见国卫办规划发〔2020〕14号[EB/OL]. (2020-10-10). <http://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/pqt/202010/4114443b613546148b275f191da4662b.shtml>.
- [28] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 国家卫生健康委关于印发医疗机构设置规划指导原则(2021-2025年)的通知 国卫医发〔2022〕3号[EB/OL]. (2022-01-29). <http://www.nhc.gov.cn/zyygi/s3594q/202201/2156670fb665406ea98f9c1a6329954d.shtml>.
- [29] 李佳祿. 区块链国内外标准化分析[J]. 信息技术与标准化, 2021, (9): 7-11. DOI: 10.3969/j.issn.1671-539X.2021.09.003.
- [30] 张潮, 王晨辉, 孙琳. 区块链系统风险分类及安全标准[J]. 信息技术与标准化, 2021, 18(9): 12-14, 20. DOI: 10.3969/j.issn.1671-539X.2021.09.004.
- [31] 工业和信息化部. 工信部正式发布首个区块链技术领域国家标准[J]. 军民两用技术与产品, 2023, 36(5): 62. DOI: 10.19385/j.cnki.1009-8119.2023.05.007.
- [32] 孙晓晔, 辛凤艳, 王冬艳, 等. 面向研究机构的病案共享区块链模型研究[J]. 河北省科学院学报, 2023, 40(2): 24-28. DOI: 10.16191/j.cnki.hbxx.2023.02.010.
- [33] Lee HA, Kung HH, Udayasankaran JG, *et al.* An architecture and management platform for blockchain-based personal health record exchange: development and usability study[J]. J Med Internet Res, 2020, 22(6): e16748. DOI: 10.2196/16748.
- [34] Kang G, Kim YG. Secure collaborative platform for health care research in an open environment: perspective on accountability in

- access control[J]. *J Med Internet Res*, 2022, 24(10): e37978. DOI: 10.2196/37978.
- [35] Costa TBDS, Shinoda L, Moreno RA, *et al.* Blockchain-based architecture design for personal health record: development and usability study[J]. *J Med Internet Res*, 2022, 24(4): e35013. DOI: 10.2196/35013.
- [36] Amanat A, Rizwan M, Maple C, *et al.* Blockchain and cloud computing-based secure electronic healthcare records storage and sharing[J]. *Front Public Health*, 2022, 10(8): 938707. DOI: 10.3389/fpubh.2022.938707.
- [37] 翟社平, 汪一景, 陈思吉. 区块链技术在电子病历共享的应用研究[J]. *西安电子科技大学学报*, 2020, 47(5): 103-112. DOI: 10.19665/j.issn1001-2400.2020.05.014.
- [38] 罗文俊, 阚胜莲, 程雨. 基于区块链的电子医疗病历共享方案[J]. *计算机应用*, 2020, 40(1): 157-161. DOI: 10.11772/j.issn.1001-9001.10028088886.
- [39] Litchfield A, Khan A. BlockPres: A novel blockchain-based incentive mechanism to mitigate inequalities for prescription management system[J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(15): 5035. DOI: 10.3390/s21155035.
- [40] Jones M, Johnson M, Shervey M, *et al.* Privacy-preserving methods for feature engineering using blockchain: review, evaluation, and proof of concept[J]. *J Med Internet Res*, 2019, 21(8): e13600. DOI: 10.2196/13600.
- [41] Hasselgren A, Hanssen Rensaa JA, Kravevska K, *et al.* Blockchain for increased trust in virtual health care: proof-of-concept study[J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(7): e28496. DOI: 10.2196/28496.
- [42] Aldughayfiq B, Sampalli S. Digital health in physicians' and pharmacists' office: a comparative study of e-prescription systems' architecture and digital security in eight countries[J]. *Omic*, 2021, 25(2): 102-122. DOI: 10.1089/omi.2020.0085.
- [43] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央办公厅国务院办公厅印发《关于深化医疗保障制度改革的意见》(2020年) [EB/OL]. (2020-10-10). https://www.gov.cn/zhengce/2020-03/05/content_5487407.htm.
- [44] Zhou L, Wang L, Sun Y. MIStore: a blockchain-based medical insurance storage system[J]. *J Med Syst*, 2018, 42(8): 149. DOI: 10.1007/s10916-018-0996-4.
- [45] Zhang C, Xu C, Sharif K, *et al.* Privacy-preserving contact tracing in 5G-integrated and blockchain-based medical applications[J]. *Comput Stand Interfaces*, 2021, 77(6): 103520. DOI: 10.1016/j.csi.2021.103520.
- [46] Xie X, Zhou W, Lin L, *et al.* Internet hospitals in China: cross-sectional survey[J]. *J Med Internet Res*, 2017, 19(7): e239. DOI: 10.2196/jmir.7854.
- [47] Han Y, Lie RK, Guo R. The internet hospital as a telehealth model in China: systematic search and content analysis[J]. *J Med Internet Res*, 2020, 22(7): e17995. DOI: 10.2196/17995.
- [48] 孙红妍. 区块链在互联网医疗中的应用[J]. *信息与电脑(理论版)*, 2020, 32(12): 20-22. DOI: 10.3969/j.issn.1003-9767.2020.12.008.
- [49] 王晓丽, 冯东雷, 许德俊. 运用区块链构建互联网医疗可信安全机制研究[J]. *中国卫生信息管理杂志*, 2022, 19(4): 482-487. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5166.2022.04.04.
- [50] 魏明月, 陈敏, 郁嘉波, 等. 基于区块链的互联网医院云药房平台设计和实践[J]. *中国卫生资源*, 2021, 24(3): 219-222. DOI: 10.13688/j.cnki.chr.2021.200830.
- [51] Chang Y, Fang C, Sun W. A blockchain-based federated learning method for smart healthcare[J]. *Comput Intell Neurosci*, 2021, 2021(7): 4376418. DOI: 10.1155/2021/4376418.
- [52] Kumar R, Kumar J, Khan AA, *et al.* Blockchain and homomorphic encryption based privacy-preserving model aggregation for medical images[J]. *Comput Med Imaging Graph*, 2022, 102(9): 102139. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2022.102139.
- [53] 中国器官移植发展基金会. COTRS 数据权威发布 2015-01-01 至 2023-07-09 已成功捐献 46519 例(2023年) [EB/OL]. (2023-07-09). <https://www.cotdf.org.cn/>.
- [54] 黄洁夫. 中国器官捐献的发展历程与展望[J]. *武汉大学学报(医学版)*, 2016, 37(4): 517-522. DOI: 10.14188/j.1671-8852.2016.04.001.
- [55] Wan PK, Satybaldy A, Huang L, *et al.* Reducing alert fatigue by sharing low-level alerts with patients and enhancing collaborative decision making using blockchain technology: scoping review and proposed framework (MedAlert) [J]. *J Med Internet Res*, 2020, 22(10): e22013. DOI: 10.2196/22013.
- [56] Zhu X, Shi J, Lu C. Cloudhealth resource sharing based on consensus-oriented blockchain technology: case study on a breast tumor diagnosis service[J]. *J Med Internet Res*, 2019, 21(7): e13767. DOI: 10.2196/13767.
- [57] Liang X, Zhao J, Chen Y, *et al.* Architectural design of a blockchain-enabled, federated learning platform for algorithmic fairness in predictive health care: design science study[J]. *J Med Internet Res*, 2023, 25(5): e46547. DOI: 10.2196/46547.
- [58] Glicksberg BS, Burns S, Currie R, *et al.* Blockchain-authenticated sharing of genomic and clinical outcomes data of patients with cancer: a prospective cohort study [J]. *J Med Internet Res*, 2020, 22(3): e16810. DOI: 10.2196/16810.
- [59] Tan TE, Anees A, Chen C, *et al.* Retinal photograph-based deep learning algorithms for myopia and a blockchain platform to facilitate artificial intelligence medical research: a retrospective multicohort study[J]. *Lancet Digit Health*, 2021, 3(5): e317-e329. DOI: 10.1016/S2589-7500(21)00055-8.
- [60] Kumar R, Wang W, Kumar J, *et al.* An integration of blockchain and AI for secure data sharing and detection of CT images for the hospitals[J]. *Comput Med Imaging Graph*, 2021, 87(1): 101812. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2020.101812.
- [61] Mackey TK, Calac AJ, Chenna Keshava BS, *et al.* Establishing a blockchain-enabled indigenous data sovereignty framework for genomic data[J]. *Cell*, 2022, 185(15): 2626-2631. DOI: 10.1016/j.cell.2022.06.030.
- [62] Tagliafico AS, Campi C, Bianca B, *et al.* Blockchain in radiology

- research and clinical practice; current trends and future directions[J]. *Radiol Med*, 2022, 127(4): 391–397. DOI: 10.1007/s11547-022-01460-1.
- [63] Mohey Eldin A, Hossny E, Wassif K, *et al.* Federated blockchain system (FBS) for the healthcare industry[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 2569. DOI: 10.1038/s41598-023-29813-4.
- [64] 韩士斌, 王士泉, 于慧杰, 等. 区块链技术在重大慢病大数据临床科研领域的应用[J]. *医疗卫生装备*, 2019, 40(8): 54–57. DOI: 10.19745/j.1003-8868.2019195.
- [65] 陈思源, 谭艾迪, 魏双剑, 等. 基于区块链的医疗影像数据人工智能检测模型[J]. *网络安全与数据治理*, 2022, 41(10): 21–25. DOI: 10.19358/j.issn.2097-1788.2022.04.003.
- [66] 王孟, 韩颖, 李子孝. 区块链和人工智能驱动的脑血管病诊疗和质量管理决策范式研究[J]. *中国卒中杂志*, 2021, 16(7): 639–642. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5765.2021.07.001.
- [67] Verde F, Stanzione A, Romeo V, *et al.* Could blockchain technology empower patients, improve education, and boost research in radiology departments? An open question for future applications[J]. *J Digit Imaging*, 2019, 32(6): 1112–1115. DOI: 10.1007/s10278-019-00246-8.
- [68] Hirano T, Motohashi T, Okumura K, *et al.* Data validation and verification using blockchain in a clinical trial for breast cancer: regulatory sandbox[J]. *J Med Internet Res*, 2020, 22(6): e18938. DOI: 10.2196/18938.
- [69] Kuo TT, Jiang X, Tang H, *et al.* iDASH secure genome analysis competition 2018: blockchain genomic data access logging, homomorphic encryption on GWAS, and DNA segment searching[J]. *BMC Med Genomics*, 2020, 13(Suppl 7): 98. DOI: 10.1186/s12920-020-0715-0.
- [70] Kuo TT, Gabriel RA, Cidambi KR, *et al.* Expectation propagation logistic regression on permissioned blockchain (ExplorerChain): decentralized online healthcare/genomics predictive model learning[J]. *J Am Med Inform Assoc*, 2020, 27(5): 747–756. DOI: 10.1093/jamia/ocaa023.
- [71] Xie Y, Lu L, Gao F, *et al.* Integration of artificial intelligence, blockchain, and wearable technology for chronic disease management: a new paradigm in smart healthcare[J]. *Curr Med Sci*, 2021, 41(6): 1123–1133. DOI: 10.1007/s11596-021-2485-0.
- [72] Krittanawong C, Rogers AJ, Aydar M, *et al.* Integrating blockchain technology with artificial intelligence for cardiovascular medicine[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2020, 17(1): 1–3. DOI: 10.1038/s41569-019-0294-y.
- [73] Nandi S, Sarkis J, Hervani AA, *et al.* Redesigning supply chains using blockchain-enabled circular economy and COVID-19 experiences[J]. *Sustain Prod Consum*, 2021, 27(6): 10–22. DOI: 10.1016/j.spc.2020.10.019.
- [74] Bansal A, Garg C, Padappayil RP. Optimizing the implementation of COVID-19 "immunity certificates" using blockchain[J]. *J Med Syst*, 2020, 44(9): 140. DOI: 10.1007/s10916-020-01616-4.
- [75] Malik H, Anees T, Naeem A, *et al.* Blockchain-federated and deep-learning-based ensembling of capsule network with incremental extreme learning machines for classification of COVID-19 using CT scans[J]. *Bioengineering (Basel)*, 2023, 10(2): 203. DOI: 10.3390/bioengineering10020203.
- [76] Khurshid A. Applying blockchain technology to address the crisis of trust during the COVID-19 pandemic[J]. *JMIR Med Inform*, 2020, 8(9): e20477. DOI: 10.2196/20477.
- [77] 禹忠, 郭畅, 谢永斌, 等. 基于区块链的医药防伪溯源系统研究[J]. *计算机工程与应用*, 2020, 56(3): 35–41. DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.908-0113.
- [78] 颜芬芬, 孙冬杰, 王道雄. 基于区块链技术的医疗器械全流程追溯系统设计探索[J]. *中国卫生信息管理杂志*, 2021, 18(6): 797–801. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5166.2021.06.
- [79] 胡诗玮, 李楠, 徐利. 基于区块链技术和综合评价的医疗器械追溯系统研究[J]. *自动化与仪器仪表*, 2023, (3): 269–274. DOI: 10.14016/j.cnki.1001-9227.2023.03.269.
- [80] Lohmer J, Bugert N, Lasch R. Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: an agent-based simulation study[J]. *Int J Prod Econ*, 2020, 228: 107882. DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107882.
- [81] Mezquita Y, Podgorelec B, Gil-González AB, *et al.* Blockchain-based supply chain systems, interoperability model in a pharmaceutical case study[J]. *Sensors (Basel)*, 2023, 23(4): 1962. DOI: 10.3390/s23041962.
- [82] Cui L, Xiao Z, Chen F, *et al.* Protecting vaccine safety: an improved, blockchain-based, storage-efficient scheme[J]. *IEEE Trans Cybern*, 2023, 53(6): 3588–3598. DOI: 10.1109/TCYB.2022.3163743.
- [83] Motohashi T, Hirano T, Okumura K, *et al.* Secure and scalable mHealth data management using blockchain combined with client hashchain: system design and validation[J]. *J Med Internet Res*, 2019, 21(5): e13385. DOI: 10.2196/13385.
- [84] Mackey TK, Miyachi K, Fung D, *et al.* Combating health care fraud and abuse: conceptualization and prototyping study of a blockchain antifraud framework[J]. *J Med Internet Res*, 2020, 22(9): e18623. DOI: 10.2196/18623.
- [85] 王宇晖, 张晓玮, 周莹, 等. 区块链技术在医院医疗收入管理中的应用研究[J]. *现代医院*, 2023, 23(5): 755–758. DOI: 10.3969/j.issn.1671-332x.2023.
- [86] 田芳, 白鑫. 基于区块链技术的版权服务平台应用方案的研究[J]. *邮电设计技术*, 2023, (9): 79–83. DOI: 10.12045/j.issn.1007-3043.2023.09.015.
- [87] Liang HW, Chu YC, Han TH. Fortifying health care intellectual property transactions with blockchain[J]. *J Med Internet Res*, 2023, 25: e44578. DOI: 10.2196/44578.
- [88] 李悦, 黄俊钦, 王瑞锦. 基于区块链的数字作品DCI管控模型[J]. *计算机应用*, 2017, 37(11): 3281–3287. DOI: 10.11772/j.issn.1001-9081.2017.11.3281.

(编辑: 王雪萍)