

可计算中医药知识发展前景及策略研究

崔鸿雁¹,陈秋平²,邵明义¹,吕兰青²,符宇¹,赵瑞霞¹,张容容²

(1. 河南中医药大学第一附属医院,河南 郑州 450003;2. 河南中医药大学第一临床医学院,河南 郑州 450046)

摘要:在中医药(Traditional Chinese Medicine,TCM)具有海量的知识和数据背景下,可计算生物医学知识(Computable Biomedical Knowledge,CBK)概念的提出及推动为创新性传承和发展中医药知识带来了启示。中医药的发展需要结合现代新型医学理念,而中医药知识特点恰好符合CBK循环学习模式,针对目前中医药领域知识传承模式与发展存在的局限性,结合CBK理念,提出可计算中医药知识(Computable Traditional Chinese Medicine Knowledge,CTCMK)的发展理念。分析中医药知识可计算发展前景并提出相关发展策略,以期推进可计算中医药知识的发展,加速中医药知识获取、发现和及时转化为实践,为中医药领域知识的创新性发展、提高中医药研究和医疗服务质量奠定基础。

关键词:可计算生物医学知识;可计算中医药知识;计算机可执行;中医药现代化;知识管理

中图分类号:R2-03

文献标志码:A

文章编号:1673-7717(2024)12-0025-05

Research on Development Prospect and Strategy of Computable Traditional Chinese Medicine Knowledge

CUI Hongyan¹,CHEN Qiuping²,SHAO Mingyi¹,LYU Lanqing²,FU Yu¹,ZHAO Ruixia¹,ZHANG Rongrong²

(1. The First Affiliated Hospital of Henan University of Chinese Medicine,Zhengzhou 450003,Henan,China;

2. The First Clinical Medical College of Henan University of Chinese Medicine,Zhengzhou 450046,Henan,China)

Abstract:Under the background of massive knowledge and data of TCM,the concept of computable biomedical knowledge (CBK) and its promotion movement have brought enlightenment to the innovative inheritance and development of TCM knowledge. The development of TCM needs to be combined with modern new medical concepts,and the characteristics of TCM knowledge are just in line with the CBK circular learning model. In view of the limitations of the current knowledge inheritance model and development in the field of TCM combined with the CBK concept,the development concept of Computable Traditional Chinese Medicine Knowledge is proposed. This paper analyzes the development prospect of computable knowledge of TCM and puts forward relevant development strategies,in order to promote the development of computable knowledge of TCM,accelerate the acquisition,discovery and timely transformation of knowledge of TCM into practice,and lay a foundation for the innovative development of knowledge in the field of TCM and the improvement of research and medical service quality of TCM.

Keywords:Computable Biomedical Knowledge;Computable Traditional Chinese Medicine Knowledge;computer executable;modernization of TCM;knowledge management

数据科学的发展促使新知识爆炸式的增长,然而传统的人脑阅读模式根本无法有效处理以非结构化文本为主要形式进行表达的医学知识,以可计算形式表示和共享生物医学知识的需求越发迫切^[1]。知识以计算机可执行形式进行解释、运行和推理,这可能会部分解决现有医学知识应用的难题。

目前,我国的中医药知识散落在各医家典籍、数据库、电子健康档案、医学文献报道、临床实践指南以及各医疗机构网站或自存储库等中,存在知识散布难寻、利用率低等问题,不利于提炼和总结新知识及辅助临床诊疗;随着现代信息技术的发展,研究和实践产生的大量中医药数据和新知识多需要领域专家理解或整合之后再由知识工程师将其知识形式化后呈现,这是一个繁杂且费力的过程^[2],限制了知识的传承、传播和共享。基于此,如何一开始把中医药数据和知识转化成计算机可“理解”的格式,实现中医药知识的可计算化,即实现从中医药

数据中发现新知识,把知识转化为实践,实践不断产生新数据、新知识的一种可循环学习模式,这是探索创新发展中医药知识的新方向。中医药是隐性知识的宝库,思维性与实践性都很强,在具体实践中学习,学习中实践,是真正做到理论和实际相结合,这恰好符合可循环学习模式。因此,在信息化时代,如何让计算机模拟人类解读中医药知识,把人读的变为机器读,且不断实现由数据到知识、知识到实践的学习循环模式,是推动中医药知识传承、实现可持续发展和提高中医药价值的关键。

1 创新知识发展模式是中医药现代化的必由之路

1.1 中医药现代化发展的局限性

中医药是中华民族的特色和优势,是我国重要的战略资源。近年来,我国对中医药发展的重视程度不断提高,中医药事业发展显著加快并取得了长足的进步,但在现代医学与科学技术快速发展的大背景下,从中医药知识管理层面上审视中医药现代化发展,我们仍然面临着一系列深层次的危机与挑战。

中医药知识管理与医疗健康紧密相关,知识的获取、存储、应用和共享是中医药知识管理的主要任务。传统上,中医药知识主要通过著书立说和师徒制等方式进行管理和传播,但这些传统方式的传播和影响范围往往存在地域、语言及组织边界等局限性。新兴信息技术的发展催生出的知识管理与创新模

基金项目:国家自然科学基金项目(82174529)

作者简介:崔鸿雁(1996-),女,河南郑州人,硕士在读,研究方向:中西医结合防治消化系统疾病。

通讯作者:邵明义(1975-),男,河南郑州人,主任医师,博士研究生导师,博士后,研究方向:中医药临床疗效评价方法及消化性疾病的临床及基础。E-mail:shmy1016@163.com。

式,极大地提升了中医药知识产生和传播的能力,如通过构建中医药信息数据库或知识库实现知识体系的系统梳理和数字化呈现^[3];基于互联网的知识服务系统扩大了中医药知识的传播范围,为医疗工作者和社会群体提供个性化的知识服务^[4]等,但这些数据库和知识库大多只是单个系统的呈现,知识服务系统也仅归属于各医疗机构,未能真正实现各系统之间数据的联系与共享,且受限于知识获取的方法,目前还未构建一个中医药知识领域的大规模的、可共享、可复用的知识库以实现知识的汇总和联通。目前国内中医药知识管理的发展和应用尚在起步阶段,缺乏系统化、全方位和全过程的管理。因此,如何充分利用新兴信息技术,转变中医药知识体系结构,提高中医药知识的现代化管理水平,是中医药文化传承和发展中值得探讨的问题。

传统的知识管理技术侧重于处理显性知识,知识管理和服务易受到时间和空间的限制,且实际运作更多地倾向于对中医药知识的信息化管理,但中医药知识管理应是基于中医药文化背景基础之上,从隐性知识到显性知识的过程,是关于中医药知识的存储、传播、应用和创新的全过程管理^[4]。因此,需要创新中医药知识发展理念,借助新型信息技术理念加快建设中医药知识管理体系,提高隐性知识的显性化效率,加快中医药知识的分享、积累、创新以及碰撞的过程,是促进中医药知识传承创新和现代化发展的必由之路。

1.2 创新中医药知识的传承发展模式

中医学吸收并借鉴了古代唯物主义和辩证法的学术思想,具有显性知识和隐性知识并存的特点^[5]。由于中医药知识自身特点,使得学者在学习、理解及应用时需要依靠自身的直觉和悟性,通过注释的方法进行解读,运用藏象、类比、辨证的方法进行意会性思维,以构成形下与形上的统一^[6],这是一个缓慢而费力的过程。隐性知识是中医学知识体系的根基和创新的原动力^[7],系统表达中医药隐性知识的内涵,并使其显性化,将单个孤立的知识转化为整体和逻辑化的知识系统,是推进中医药知识传承与发展的一项重要工作^[8]。

然而,长期以来,中医药知识或由医家口耳相传,或以中医典籍文本记录形式进行传承,或即使在信息化时代以文本格式保存和共享地供人类阅读(例如,患者PDF单或在线HTML教科书的)计算机知识,传承模式大多仍是从个人知识到个人知识之间的流动,具有一定的保密性和不稳定性;其次,中医药知识缺乏系统化的总结,难以上升到组织知识,存在于个体中的特别是大量名老中医的隐性知识未能充分显性化和总结以实现广泛的运用和传播,且不同学派间存在知识壁垒,不利于推动整个中医药事业高效发展^[9];再者,数据时代中医药信息繁多,产出的科学出版物及其相关数据快速增长,但数据信息量的增长并未反映中医药认知领域的扩大。因此,在此背景下,必须依赖一种有效地信息技术手段,创新中医药知识的呈现方式和管理模式,将产出的中医药证据和知识及时转化为临床实践,搭建知识和实践之间交互的“接口”和“桥梁”,形成“数据—知识—实践—数据”的循环式学习,从而提高中医药知识的研究效率和服务质量^[10]。

2 中医药知识可计算化发展是创新之路

大多数健康和医疗信息学活动都涉及患者或客户数据的获取、存储或交流^[11]。患者数据只是做出临床决策所需信息的一部分,我们还需要知识,如病因、病变过程以及药物或其他治疗措施的有效性^[12]。中医药数据的核心内容是对中医药知识的系统表达,中医药领域的知识不是单纯的观测数据,而是经验与实践相互融合的数据^[13]。中医药数据的生成模式与获取手段,决定其无法成为传统意义上的大数据,而必然是知识

密集型数据。因此,中医药的研究目标不是建立数据密集型科研模式,而是直接面向数据的知识发现与知识产出。

近年来,CBK理念的提出以及中医药信息学科的迅速发展,为创新中医药知识管理及服务模式提供了一定的借鉴和参考。

2.1 可计算医学知识理念的启示

生物学知识呈现指数增长^[12],迫切需要将医学知识纳入各种系统、组织和应用程序,或提供访问权限,以促进医学知识的广泛传播与利用。各国已经在知识共享方法和技术方面进行了大量研究,但“可计算”“可执行知识”的概念最近才受到关注^[14]。可计算知识是表示为计算机代码的知识、机器可解释的语句,人类无法直接理解^[15],当提供数据实例时,可计算知识可以产生有用的建议。CBK,例如预测模型或可执行规则、预警或数据可视化,都可以集成到医疗健康信息系统中,使数据信息共享,以改善医疗保健工作者和学者的情景学习。CBK可能会部分解决应用医学知识的难题,有利于疾病的发现和干预。自2016年开始到至今,国外相继开展了4届推进可计算生物学知识运动,阐明了MCBK对于改善医疗健康的重要性,探讨围绕CBK的基础设施、标准、政策和最佳实践的策略^[16];并制定了在开发利用CBK时的共同价值观和原则的宣言,以最大限度地减少危害,实现知识的高效、安全和公平传播^[17]。北京大学孔桂兰博士在第四届MCBK年度公开会议总结时指出CBK将为解决大量中国出版物和医学数据积累的知识表达和传播需求提供一个机会^[18]。

2.2 中医药知识可计算发展前景分析

中医药经过历代传承和积累产生的知识浩如烟海,不仅具有显性知识,也具有隐性知识的特点。传统的中医药知识从发现到转化为实践费力且耗时长,不仅需要海量数据和信息源中抽取、剥离知识单元,也需要建立适宜的表示模型来保持知识更新,这主要因为中医药知识多表现为线性的文本(如书籍、文献、临床指南等)和零散化的模型(如中医药疗效预测模型等),使得中医药工作者在想要理解、总结以及运用这些知识时需要亲自阅读并加以梳理和理解,这对于个体有限的精力而言是困难的;其次中医药知识具有隐性知识的特点,隐性知识多难以理解和掌握,在很多情况下,学者需要参加相关的教育培训或临床实践才能实现知识的转化,且在知识的传承中容易受到单个个体的原有知识体系、能动性、悟性等因素的影响,使得中医药知识难以系统化并上升为组织知识。

近些年,随着科技和信息技术的发展以及中医药传承和发展的需要,通过现代技术手段获取、存储、应用和共享中医药知识显得尤为必要和迫切;同时,为促进中医药知识转化,需要搭建知识和实践之间的桥梁,构建两者之间的交互机制,促进知识驱动或知识指导的实践,加速中医药知识向临床应用的转化。因此,为实现中医药知识的广泛传播和可操作,知识需要以可用和可实施的格式呈现——即可计算的中医药知识,可计算中医药知识包括中医药知识的表示形式可计算化和在实践中可执行。

2.2.1 中医药知识的表示形式可计算化 实现中医药知识的可计算化,只有通过计算机编程封装知识对象之后,才能实现可计算,其最终表示方式是计算机程序代码^[19]。中医药现代化科学计划中一项计划是中医古籍数据、临床数据和研究出版物的数字化,各种计算机技术和统计学方法已用于中医临床研究、临床决策支持和中医知识发现,例如,首先以中医药理论知识、医案典籍、传统诊疗规则或者诊疗知识库电子化、结构化,编码形成计算机能够存储并理解的计算机化医学规则或者大型知识库,并构建一个大型知识管理平台以实现对知识对象的

共享和利用;其次,中医药知识记录分散、隐性知识众多,又富含相关知识,通过借助知识图谱的知识关联、表达、利用等方面的优势,如利用描述逻辑、框架、语义网络等一系列知识表达方法,让计算机利用中医药专业知识以及推理能力来解决实际问题^[20]。通过计算机语言表示中医药知识,实现知识的现代化储存与管理,从而促进知识的转化与发展。

2.2.2 中医药知识在实践中可执行 中医药知识只有转化为实践才能发挥其价值,从而改善人类健康。首先,建立拥有中医药学基本知识古籍(如《伤寒论》《黄帝内经》等)的医案统一采编录入系统以深化基础理论学习,在实践中检验知识,并提高理论联系实践、解决临床实践的能力;其次将中医学知识图谱与临床电子病历相结合,以方便知识查询、系统化呈现数据和辅助临床决策;再者对中医药临床试验研究及真实世界中收集的大数据进行分析、挖掘,找出疾病用药特征和规律,构建患者预后预测模型,以优化疾病管理决策。

动员中医药知识可计算化可以促进大规模快速获取中医药知识,以最大化发挥中医药作用,并有可能大规模改善个人和群体的健康^[21]。因此,我们认为需要一个新的、协调的中医药生态系统来彻底改变中医药知识和证据的呈现和分配方式,以支持临床决策和行动,从而造福人类。

3 促进可计算中医药知识发展的策略研究

3.1 中医药知识组织系统

知识组织系统(KOS)是定义、描述客观物质世界信息及其相互关系的术语和符号系统^[22],通过对无序分散的医学知识按照其内在逻辑联系,运用一定的组织方法、工具和标准开展有序化、系统化活动,形成如分类法、叙词表、术语表、一体化语言系统、本体、语义网络、知识图谱等不同结构的医学知识组织系统(Medical Knowledge Organization System,MKOS),有助于实现海量医学知识的深度组织与有效利用,对推动医疗健康大数据的语义互联、共享共用及我国医药科技创新发展具有重要意义^[23]。中医药已经形成了完备的知识体系,但中医药数字资源缺乏知识层次的统一描述和系统管理,导致中医药信息利用和共享困难。因此,推进中医药知识可计算化发展需要加强对于中医药领域的知识组织系统相关研究,包括知识组织系统构建和应用方式、知识组织系统的实现工具和技术,以及知识组织系统互操作的标准规范等内容^[24]。

在知识组织系统的实现工具和技术上,本体(Ontology)作为一种新型的KOS技术,为构建大型、复杂的KOS提供了强大的知识表达和推理能力,成为近年KOS领域的主流技术和研究热点。因此,充分利用本体技术,依照中医药学特点及学科体系特点,设计语义与学科相结合的分类体系与概念关系,在中医基础理论指导下,清晰、准确地刻画中医概念与概念之间的关系,充分展示中医药语言的特性与内在的关联关系,支持多维度、可视化、动态的模型表达和组织中医药知识和相关的信息资源,促进中医药信息交互与数据分析挖掘利用研究,并实现辅助临床决策,为中医文献支持中医临床决策提供了一种有效地知识组织方式^[25]。

目前已有的基于本体技术构建的“中医药学语言系统(Traditional Chinese Medicine Language System,TCMLS)”“中医药临床术语集(TCMCT)”“传统针灸知识体系语义网络”“中医古籍语言系统”等中医药领域的KOS已经初具规模并得到了成功应用^[26]。但各系统间缺乏共享、兼容与融合,这是影响KOS应用效果的一大技术难题。由万维网联盟(W3C)公布的知识组织系统概念框架表示的推荐标准——简单知识组织系统(Simple Knowledge Organization System,SKOS),具有简单、通用、易扩展等特性^[27],可用于中医药KOS的规范化表达和统一访问,为实现术语融合和术语服务提供了潜在的解决方案。

在中医药领域推广使用SKOS技术,将中医药KOS转换为SKOS本体,可促进这些系统在万维网上的发布、共享与融合,以及与其他相关领域(如生物医学)KOS的关联与协调,从而进一步优化中医药领域知识的组织与管理。例如于彤^[26]提出了一套将中医药KOS转换为SKOS本体的技术研究方案,这项研究初步验证了SKOS技术在中医药领域的适用性,为KOS在中医药领域的推广积累了经验。但本体等新型知识组织系统目前大部分尚处于研究和实验阶段^[22]。因此,需要进一步探索建设中医药SKOS、中医药知识资源语义表示及中医药分布式服务研究,开发针对中医药数据信息资源的分布式共享、发现、互操作等集成服务,真正实现中医药知识的价值和知识服务的意义。

3.2 促进可计算中医药知识转化为实践

3.2.1 医疗信息交换标准规范 当前我国各大医疗信息平台多按照机构自身需求而构建,医疗机构的概念体系、数据类型各不相同,且同一个数据记录于多个异构系统,这往往导致在医疗信息交互过程中存在冲突冗余,各医疗机构封闭式的系统数据模型导致无法实现数据之间的交换与共享,影响数据的抽取与利用,医疗领域内系统之间的信息交换面临挑战^[28]。将国际主流的信息交换标准HL7 FHIR(快速医疗保健互操作性资源)核心框架引入中医药医疗领域,使医疗数据类型和疾病术语表达标准化,实现电子病历、健康档案、个人健康记录及基因数据库等医学数据库之间互联互通^[29]。FHIR给定的是一种数据交换格式标准,既可以单独作为数据标准来使用,也可以与其他广泛应用的标准相结合,依据FHIR框架下医疗领域信息交换方法,通过本体构建、本体映射与迁移实现将存储在医疗机构数据库中的中医疾病术语转化成符合另一个系统的规范化编码形式,用以保证系统之间信息交换的灵活性和可查找性,同时参照中医学领域的编码系统、术语系统及分类系统等中医药信息标准^[30]。鼓励在中医药知识研究应用和数据共享方面使用FHIR标准规范,是实现可计算中医药知识实践的重要步骤。

3.2.2 中医药知识图谱与临床电子病历相结合 目前,将中医药知识图谱与中医药临床电子病历相结合是研究的热点^[31]。知识图谱是以图的形式来描述知识发展进程与内部相关关系的技术方法,中医药领域知识体系具有规模庞大、内涵丰富、关系复杂等特点,知识图谱作为资源管理和知识应用的重要技术,应用于中医药领域能够更加有效地描述、挖掘实体间的关系,使大规模中医药知识存储更为规范、应用更加高效,实现中医药资源的有效整合,为中医药知识服务的相关研究奠定基础^[32]。中医药知识图谱已经应用于中医药的基础理论、临床辅助诊断、方剂用药等多个方面,临床实践的价值主要体现在与真实世界数据的电子病历的结合应用上^[33]。因此,我们需要进一步研究和探索如何运用中医药知识图谱切实解决中医药临床问题,这是实现中医药知识落地于实践的关键一环。构建中医药领域知识图谱,要紧密结合中医药体系自身特点,契合中医理论和临床实际需求,探索能够更加精准表达中医药各类知识的先进方法与技术,以求更加精准、科学地辅助临床,为实现辅助决策、智能问答等中医药服务提供支撑。

3.2.3 医疗保健服务机构知识管理能力 可计算中医药知识允许知识在不同的医疗服务机构中应用和扩展,使知识可查找、可访问、可互操作和可重用,这一原则类似于数据公平性,这是数据科学的公认目标,基于知识公平性的可计算中医药知识促使医疗服务机构基于最佳可利用知识,以有效和可共享的方式做出决策^[34]。促进中医药知识转化为实践并实现共享,只有在医疗服务机构有能力支持可计算中医药知识管理的情况下才能大规模发生^[35],这需要组织机构具备能与知识部署

互补的知识管理能力,并能将其与前沿临床系统集成。随着知识来源变得可计算,需要评估更多的知识以进行合并,医疗机构需要考虑有关知识的新信息,并确保知识使用组件能将新知识整合到临床决策系统中,以实施最佳实践,但目前尚不清楚临床医生如何对源自可计算知识的指导或建议的反应,机构应建立使用反馈机制以改进管理可计算知识工作,促使可计算中医药知识的大规模传播和共享。

中医药知识可计算化发展思路与方法的结构图如插页 XV 图 1 所示。

4 结语

运用现代化科技手段和方法创新中医药知识发展模式是促进中医药现代化发展的必由之路。借鉴国外最新提出的 CBK 概念及 MCBK 发展战略,针对中医药知识的特点及传承发展中存在的问题,提出可计算中医药知识的发展理念,本文分析了中医药知识可计算发展前景,并提出部分相关发展策略。相比传统的中医药知识管理和服务模式,可计算中医药知识旨在以计算机可识别的格式表示中医药知识,实现知识的计算机获取、储存、操作和推理,并促使其广泛应用和共享,以期在不同的环境和应用中发挥中医药作用,推进中医药科学发展和改善人类健康。实现中医药知识的可计算发展对于中医药知识的传承发展及医疗卫生服务事业是有益的,但仍然不可避免地存在一系列挑战。一方面是中医药知识自身的复杂性及特殊性,实现精准的计算机编码可应用是需要突破的难点;另一方面是寻求提高与数据交换标准的互操作性技术以应用于更广泛的医疗保健系统,确保基于临床指南或系统审查的知识对象能支持临床决策,这对于改善临床决策和衡量改进成效以确保实现更好结果是必需的,意味我们需要保证从数据中获取知识的质量并进行验证,并确保这些知识可以在整个医疗保健系统中安全且高效地共享。

本文对于可计算中医药知识的认识和研究尚浅,需要协同更多的中医药工作者和领域专家共同努力以进一步探索和研究,以实现中医药知识的传承创新和可持续发展,使中医药知识落地于实践,促进中医药知识的应用和共享。

参考文献

- [1] ADLER - MILSTEIN J, NONG P, FRIEDMAN C P. Preparing health-care delivery organizations for managing computable knowledge[J]. *Learning health systems*, 2019, 3(2): 10070.
- [2] 周肖彬. 医学本体和医学知识获取的研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(计算技术研究所), 2003.
- [3] 刘亮, 高琦. 论述中医药信息数据库的现状与发展趋势[J]. *电子世界*, 2014(1): 24, 39.
- [4] 王广平, 孙东川, 张竟之. 基于知识管理的中医药发展的理论与方法[J]. *科技管理研究*, 2009(6): 316 - 318.
- [5] 于彤, 李敬华, 于琦. 中医药知识服务研究概述[C]// 第一届中国中医药信息大会论文集, 2014: 141 - 144.
- [6] 魏鲁霞, 申俊龙, 叶盛平. 中医药隐性知识创造性思维的根源及内在发展逻辑[J]. *医学与哲学(A)*, 2013(6): 68 - 70, 76.
- [7] 蓝旭, 赵俊男, 张颖, 等. 隐性知识在中医药学术传承中的应用现状与思考[J]. *世界科学技术 - 中医药现代化*, 2019, 21(3): 361 - 365.
- [8] 李杰, 张蝶, 杨静. 隐性知识在中医药文化传播中的实现路径[J]. *成都中医药大学学报(教育科学版)*, 2021, 23(3): 6 - 8, 54.
- [9] 范宇鹏, 杨志敏, 老膺荣, 等. 基于中医知识特点, 引入知识管理, 探索中医传承新模式[J]. *科技管理研究*, 2010, 30(16): 161 - 163.
- [10] 高博, 崔蒙, 杨硕, 等. 基于数据的中医药知识服务研究[J]. *图书情报工作*, 2012, 56(9): 5 - 9.
- [11] SHORTLIFFE E, PERREAULT L. Medical informatics: computer applications in health care. Reading[J]. *Ann Intern Med*, 1991, 114(9): 827 - 827.

- [12] MUSEN M A, PROTÉGÉ TEAM. The Protégé project: a look back and a look forward[J]. *AI Matters*, 2015(1): 4 - 12.
- [13] 于彤, 李敬华, 杨硕, 等. 中医药“知识密集型”数据研究思路[J]. *中国中医药图书情报杂志*, 2015, 39(4): 1 - 3.
- [14] WYATT J, SCOTT P. Computable knowledge is the enemy of disease. *Care Inform*[J]. *BMJ Health*, 2020, 27(2): e100200.
- [15] WONG D, PEEK N. Does not compute: challenges and solutions in managing computable biomedical knowledge[J]. *BMJ Health Care Inform*, 2020, 27(2): e100123.
- [16] Guiding principles for findable, accessible, interoperable and re-usable data publishing version b1. 0 [EB/OL]. <https://www.force11.org/fairprinciples>.
- [17] RICHARDSON J E, MIDDLETON B, PLATT J E, BLUMENFELD B H. Building and maintaining trust in clinical decision support: recommendations from the patient - centered CDS learning network[J]. *Learn Health System*, 2019(1): 1 - 8.
- [18] WILLIAMS M, BRAY B E, GREENES R A, et al. Summary of fourth annual MCBK public meeting: Mobilizing computable biomedical knowledge - metadata and trust[J]. *Learning Health Systems*, 2021, 6(1): 10301.
- [19] 杜建, 孔桂兰, 李鹏飞, 等. 可计算医学知识的基本概念与实现路径[J]. *情报学报*, 2021(11): 1221 - 1233.
- [20] 张雨琪, 李宗友, 王映辉, 等. 中医药知识图谱的构建与应用研究[J]. *世界中医药*, 2022(4): 553 - 558.
- [21] FRIEDMAN CP, FLYNN AJ. Computable knowledge: an imperative for learning health systems[J]. *Learn Health Syst*, 2019, 3(4): e10203.
- [22] 曾文, 韩红旗, 张运良, 等. 知识组织系统及其构建技术应用研究[J]. *情报科学*, 2017, 4: 79 - 83.
- [23] 李晓瑛, 李军莲, 邓盼盼, 等. 医学知识组织系统构建研究与应用实践[J]. *数字图书馆论坛*, 2020(7): 30 - 35.
- [24] 王景侠. 知识组织的工具及其语义互操作方法体系[J]. *数字图书馆论坛*, 2013(5): 41 - 46.
- [25] 秦微, 崔家鹏, 王彩霞. 中医药知识本体构建思考[J]. *辽宁中医杂志*, 2013(8): 1568 - 1570.
- [26] 于彤, 崔蒙, 张竹绿. 从中医药学语言系统到简单知识组织系统本体的转换研究[J]. *中国中医药信息杂志*, 2014(12): 38 - 41.
- [27] 刘磊, 郭诗云, 何琳. 简单知识组织系统(SKOS)模型及其应用研究进展[J]. *图书情报工作*, 2015(4): 137 - 145.
- [28] 盛姝, 黄奇, 杨洋, 等. HL7 FHIR 框架下中国医疗领域信息交换研究与解决方案[J]. *数据分析与知识发现*, 2021(11): 13 - 28.
- [29] INAU, ESTHER T, et al. Initiatives, concepts, and implementation practices of fair (findable, accessible, interoperable, and reusable) data principles in health data stewardship practice: protocol for a scoping review[J]. *JMIR Res Protoc*, 2021, 10(2): 22505.
- [30] 于彤, 崔蒙, 李海燕, 等. 中医药学语言系统的语义网络框架: 一个面向中医药领域的规范化顶层本体[J]. *中国数字医学*, 2014, 9(1): 44 - 47.
- [31] 陈强, 丁腊春, 王译, 殷伟东. 智能电子病历质控系统研究与应用[J]. *医学信息学杂志*, 2020, 41(6): 63 - 65, 89.
- [32] 王松, 李正钧, 杨涛, 等. 中医药知识图谱研究现状及发展趋势[J]. *南京中医药大学学报*, 2022(3): 272 - 278.
- [33] YANG, R. Decision - making system for the diagnosis of syndrome based on traditional Chinese medicine knowledge graph[J]. *Evidence - Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, 2022: 8693937.
- [34] WILKINSON M D, DUMONTIER M, AALBERSBERG I J, et al. The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship[J]. *Sci Data*, 2016, 3: 160018.
- [35] FRIEDMAN C P, ALLEE N J, DELANEY B C, et al. The science of learning health systems: foundations for a new journal[J]. *Learn Health Syst*, 2017, 1(1): 1.