

# 数字医生与平行医疗：从医疗知识自动化到系统化智能医学

王飞跃

中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室, 北京 100190

电话: 010-82544521, E-mail: feiyue.wang@ia.ac.cn

**【摘要】** 针对数字转型和智慧医疗面临的诸多问题, 本文讨论如何利用人工智能和数字医生, 包括各种数字孪生和元宇宙方法及设想, 特别是平行智能技术, 集复杂性医学、跨学科医学、系统智能医学为一体, 从医疗保健服务的专业分工、人机分工、虚实分工角度, 构造新一代医学智能平台与设施, 发展主动、精准、个性化、虚实平行互动的低成本、高效益智慧医疗服务事业。

**【关键词】** 人工智能; 平行智能; 数字医生; 数字孪生; 元宇宙; 平行医生; 平行医院; 联邦医院

**【中图分类号】** R19; R-0; TP2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-9081(2021)06-0829-05

**DOI:** 10.12290/xhyxzz.2021-0586

## Digital Doctors and Parallel Healthcare: From Medical Knowledge Automation to Intelligent Metasystems Medicine

WANG Feiyue

The State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation,  
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Tel: 86-10-82544521, E-mail: feiyue.wang@ia.ac.cn

**【Abstract】** This paper proposes the concept of digital doctors and their roles in parallel healthcare for the digital transformation of medical services based on artificial intelligence and intelligent technology. By integrating complexity medicine, transdisciplinary medicine, and systematized intelligent medicine, we outline an ACP-based parallel healthcare and federated hospitals for preventive, proactive, precise, and personalized medical services.

**【Key words】** artificial intelligence; parallel intelligence; digital doctors; digital twins; metaverse; parallel doctors; parallel hospitals; federated hospital

**Funding:** National Natural Science Foundation of China (61533019); Intel Collaborative Research Institute for Intelligent and Automated Connected Vehicles (ICRI-IACV)

*Med J PUMCH*, 2021, 12(6): 829-833

自人类历史有记录以来, 医疗和智能就是我们生存与发展永恒的主题, 二者相互促进、密切关联, 由此衍生出哲学、科学和今日形形色色的各种技术。追根溯源, 西方现代医学、哲学、科学和人工智能等学

科和领域, 同孕于古希腊文明, 共生于文艺复兴, 成熟于近代和当代的科学技术。此外, 自人工智能研究正式成为一个较为独立的科学领域起, 其在医疗中的应用是研发的核心主题。20世纪80年代, 人工智能

基金项目: 国家自然科学基金(61533019); 英特尔智能网联汽车大学合作研究中心项目(ICRI-IACV)

引用本文: 王飞跃. 数字医生与平行医疗: 从医疗知识自动化到系统化智能医学 [J]. 协和医学杂志, 2021, 12(6): 829-833. doi: 10.12290/xhyxzz.2021-0586.

由于专家系统技术而有了历史上的第一个“中兴”时期，而医学领域正是专家系统的主要用武之地，由此产生了著名医用专家系统如 MYCIN、DENDRAL、INTERNIST、CADUCEUS 等<sup>[1]</sup>。

事实上，人工智能目前的“复兴”也是基于 20 世纪 40 年代维纳、McCulloch 和 Pitts 等人对生物生理和人类大脑的研究，其所归纳形成的“循环因果 (circular causality)”和人工神经网络模型正是今日大数据因果革命和深度学习的思想及理论基础<sup>[2-3]</sup>。更为重要和有趣的是，引导未来人工智能和智能科技进一步深入发展的知识自动化理念与方法的正式提出，也是源自 1987 年《首都医学院学报》对美国人工智能专家费根鲍姆在 1986 年第五届世界医学信息科学大会上所作报告题目之“误译”：把自主知识的英文“AutoKnowledge”翻译成“知识自动化”<sup>[4]</sup>。我们应该庆幸这一“正确”的误译，不但把知识自动化的历史提前了 20 余年，且让我们从新的角度反思：为何几乎是智能医学领域最需要的医学知识自动化，其研发反而严重滞后，其配套的基础设施至今依然是不成规模、难以流程化的“碎片”“孤岛”式系统？

回顾西方现代医学的发展，医护工作者和相应学科的“专业分工”是其科学化的关键一步。然而，医疗的专业分工能够达到今日的高效和可靠程度，各类医用机器的引入功不可没。特别是在医用机器人引入之后，“人机分工”已成大局，并进一步成为“专业分工”真正有效、可信的基础和保障。人机分工之后，尽管医学信息化得到了深入和普及，但为了实现医学自动化的需求，我们必须进一步考虑并引入“虚实分工”，利用智能技术和云端资源，推动医学智能化，反过来以此确保医学自动化的成熟、可靠、可信以及普及应用，进而提升人机分工的水平<sup>[5-7]</sup>。

我们认为，从“专业分工”到“人机分工”，再到“虚实分工”，是智慧医疗发展的必由之路，而虚实分工的关键与核心是引入数字人医生或数字医护工作者，以及相应的虚实互动平行智能医学体系，其本质上是通过虚实分离实现医疗知识自动化的过程 (图 1)。这样做的目的，首先是强化生物人医生在整个医疗体系中的核心与指导作用；其次是减少医护人员和患者家庭不必要的工作量与负担，平衡生物人医生、机器人医生和数字人医生之间的关系，有效地从医学小数据中生产出医学大数据，进而从中提炼出针对具体患者病情及场景的“医学

智数据 (smart data)”；最后，以可持续的方式，实现“6S”的新一代智慧医疗体系，即基于虚实互动的平行健康、平行药物、平行医学、平行医疗、平行医院，实现人类健康系统在物理空间中的安全 (Safety)、在信息空间里的安全 (Security)、生态的可持续性发展 (Sustainability)、个性化优化 (Sensitivity)、全面服务 (Service) 和深度智慧 (Smartness)<sup>[5-7]</sup>。

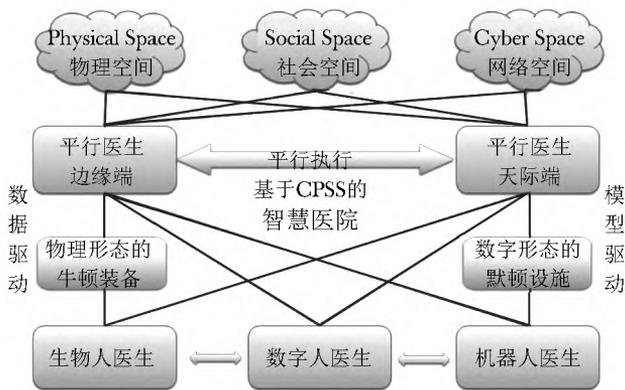


图 1 数字医生与智慧医疗的虚实分工

本文将就新一代智慧医疗系统进行初步讨论，以期面向人民生命健康，共同推进智能医学和智慧医疗的深入发展与应用。

## 1 智能医学研究现状与问题

以图像处理为主的疾病诊断智能化是目前智能医学研究的绝对主流<sup>[2,7-9]</sup>，热点依然是精度和可靠性问题，深度学习和对抗生成是其主要的研究方法和工具。随着深度神经网络构造的不断演化、算法的不断提高和图像数据库的不断扩大，精度将成为非主要问题，特别是相对生物人医生水平而言。然而，依据现代算法的水平，可靠性和稳定性问题依然难以独立解决，人机混合的方式不但可以解决可靠性和稳定性问题，且可显著提高医疗图像识别的精度。综合考虑法律、伦理和人性化，人机混合智能和视觉推理方法应是疾病诊断智能化研究的主要方向。平行医学图像处理和计算知识视觉方法<sup>[8-10]</sup>是沿此思路发展起来的一种新的医学图像处理方式，可以方便地将医护人员的行为模式、医疗诊断流程和面向患者的可视化工程等涉及人的环节纳入基于图像的诊断过程。

以语言文本分析为主的疾病咨询智能化是人工智能医学研究的另一个重要且日益受到关注的方向，语言交互和自然语言处理 (natural language processing,

NLP) 是其主要方法和工具, 已在智能导诊和心理咨询等方面发挥了重要作用。实际上, 这一方向的工作不但涉及人工智能的核心技术 NLP 和正在兴起的脑机接口与人机交互, 且与刚刚起步的叙事医学<sup>[5-7]</sup>、患者健康数据的有效利用及进一步提升息息相关, 是改善医疗效率和医患关系的重要手段和创新途径, 十分值得关注和投入。

疾病预测与干预智能化和疾病治疗与医学服务智能化是智能医学研究的 2 个重要领域, 但难度相对较大, 且很难靠智能算法单独解决, 必须有医学知识和专家的深度介入。在预测和干预方面, 主要方法是较为传统的医学信息检索、信号处理、大数据分析 with 模型预测, 以及新兴的知识图谱方法。在治疗和服务方面, 主要手段是 NLP、人机交互、医用机器人、机器学习和增强现实等。

人工智能在卫生健康管理智能化领域的研究正在引起广泛关注, 且在引入 NLP、社会计算、机器学习、知识图谱、机器人过程自动化等方法与技术后, 取得了显著成果<sup>[7]</sup>。另一个相对被忽略但十分重要的方向是人工智能在健康及医学教育方面的应用。尽管中外许多创业公司和跨国企业已大力开展医学教科书和论文的知识图谱构建, 但相关教学与示教应用仍然滞后, 应引起关注。人工智能在健康、医学、医疗教育和管理方面的应用极其重要, 也是智能科技真正发挥效益的地方, 但利益冲突和体制惯性是其相对落后的重要原因。

总之, 尽管近年来人工智能在医学领域取得了重要进展, 但在数据质量、监管与评估、成果转化与商业化、法规与伦理等方面依然存在诸多问题和挑战。宏观上看, 目前研究涉及的医学知识和医疗流程并不深入, 人和社会因素考虑不足, 在本质上难以整体处理医学所面临的科学性、人文性、社会性交融的复杂问题, 必须集跨学科医学、复杂性医学和系统化智能医学为一体, 在传统医学与现代医学的基础上, 创立新一代的智慧医疗。结合平行智能方法, 沿此方向的一些初步研讨可见文献 [5-10]。

## 2 智慧医疗：学科交叉、复杂性科学与系统智能科技

被称为西方“现代医学之父”的奥斯勒曾言：“行医是一种以科学为基础的艺术。”这句话在一定程度上点破了医学的本质：医学，特别是医疗，仅有科学还不够，人们必须同时面对医学的科学性、人文

性和社会性，以及这些属性共同纠缠所产生的不定性 (Uncertainty)、多样性 (Diversity)、复杂性 (Complexity)，即 UDC。智慧医疗的历史使命就是利用智能科技创出一条新路，化 UDC 为保障人类生命健康的 AFC 能力，即针对各种疾病处理的敏捷 (Agility)、向具体医疗任务聚焦 (Focus)、向健康目标收敛 (Convergence) 的能力。为此，我们必须融跨学科医学、复杂性医学和系统智能医学为一体，集生物人医生、机器人医生、数字人医生于一身，开创医学发展新的历史阶段。

为何采取这一途径？源头即是医学问题的复杂性和当前已经出现的一些难题。人类经过长期的探索和努力，从宗教或经验式的传统医学启航，终于使现代医学成为现代科学的核心之一，特别是在基因信息学和分子生物学的推动下，正向集防御 (Preventive)、主动 (Proactive)、精准 (Precision) 和个性化 (Personalized) 为一体的“P4”医学迈进。然而，在医学的科学进程中，技术至上的思潮涌现，甚至愈演愈烈，致使有些地方的医疗实践严重偏离医学的人文和社会属性，特别是对不断重复的 LUC (law of unintended consequences) 现象视而不见。这些问题充分表明，医学科学与技术的发展，只能回答可否做到，但依然无法真正回答需要做什么的问题。这就是必须融合复杂性科学、系统化智能科技和交叉学科方法构建智慧医疗的根本原因。

针对医学科学属性中的还原困境和循环困境，医学人文属性中价值的主观性、效果的心理性和应用的有界性，医学社会属性中发展的资本性、伦理性和一致性等一系列主要问题，除现行的方法与实践外，新一代智慧医疗应考虑下列研究课题：(1) 基于复杂性科学的复杂性医学；(2) 基于交叉学科的跨学科医学；(3) 基于系统工程的系统智能医学或元体系智能医学。

总之，复杂性医学的目标是利用复杂性科学的研究，将复杂性任务交给虚拟的人工系统解决，而医学工作者的工作必须尽可能简单化，最终希望人仅处理高心智却“简单”的人文性和社会性任务。跨学科医学的任务是建设新的医学基础设施，培养新的医学范式和医疗文化，实现交叉学科医学知识自动化，其目的依然是减轻医生和患者的负担，提高医疗效益。系统智能医学希望利用数据智能和智能科技，通过人机结合虚实平行的方式，将复杂性医学和跨学科医学的理念、方法、技术、流程付诸实践，成为可信、可靠、易用、高效的分布式自主

自动化医疗组织和系统，变革现行医学和健康体系，更多更好地服务人类。

### 3 平行医疗和平行医院体系

所谓平行医疗，就是利用平行系统和平行智能方法研究与医学相关问题的方法与体系，主要由基于人工社会（artificial societies）+ 计算实验（computational experiments）+ 平行执行（parallel execution），即 ACP 方法的医疗流程和并行医学框架平台组成。目前风行的“数字孪生”是平行系统的简单例子，而元宇宙是平行系统较复杂的情况。首先，需要构建与实际现行的医学研究和医学服务对应的人工或虚拟医学研究步骤和医学服务过程模型，即将其软件化定义或数字化孪生。一般而言，一个或多个实际医学系统（实际系统）可以对应于一个或多个人工医学系统（人工系统），一是完成医学医疗模型的形式化和知识表示，二是将模型的功能从传统的分析转化为数据生成。在人工系统的基础上，开展医学的计算实验，将具体问题的“小数据”，通过这一实验过程和对抗生成等方法变成“大数据”，再利用机器学习和各种人工智能方法凝练出针对具体问题的精准知识，即“智数据”。医学的最终任务是解决患者的问题，因此，还需要在人工系统和计算实验的基础上实施平行执行：实际医疗系统与对应的人工医疗系统各行一步，然后交换其结果并进行比较，根据差别进行虚实反馈，实现虚实闭环，如此反复进行，利用虚实平行互动，形成虚实之间的双反馈和双闭环医疗系统。

平行医学的基本思路为：利用虚实的相互作用，由“单一世界”转变成“多重世界”，完成对实际医疗过程的管理与控制，包括对有关医学人员的培训和系统学习，对相关医学决策和行为的实验与评估，使过去“摸着石头过河”的实践方式升华为科学化、系统化、精细化水平的科学管理，并能够以可计算、可实验、可验证的方式不断改善、不断提高。

平行医学系统的基本框架主要由实际医学系统和人工医学系统所构成的平行系统，以及学习与培训、实验与评估、管理与控制 3 个功能平台组成（图 2）。利用平行系统的虚实互动和平行驱动，对虚实之间的行为进行交换、对比和分析，完成对各自未来状况的借鉴、预估和优化，相应地调节各自的运行管理与控制方式，实现相关人员和算法的学习与培训、相关决策和行为的实验与评估、相关过

程与服务的管理与控制。

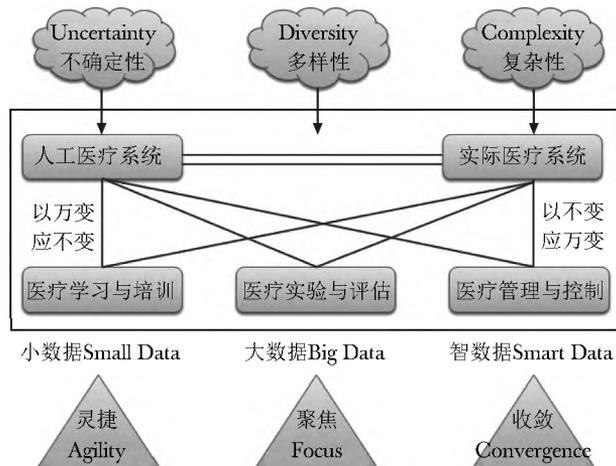


图 2 平行医疗系统的基本框架

尽管在科学上已取得了许多重大进展，但医学在本质上还是一门实验学科，依然按照“吃一堑，长一智”的方式进化发展。在一定意义下，平行医学就是利用信息和智能技术，把在物理世界的“吃一堑”，换成在知识虚拟世界的“吃一堑”，把在虚拟世界认知上的“长一智”，换成在物理世界实践上的“长一智”，特别是虚拟的“吃一堑”可以通过知识自动化和数字人医生的形式大范围地快速进行实验，把医学的“小数据”变成“大数据”，再凝练成“智数据”，实现低成本、高效益、广智慧。目前，平行系统和平行智能的方法已在军事、国防、经济、制造、教育等领域得到广泛的应用<sup>[5-10]</sup>，并在痛风、皮肤、眼科、手术、制药和医学图像等方面开始了一系列的探讨<sup>[5-10]</sup>，有待进一步开展更加深入细致的系统化研究与实践。

显然，针对平行医疗技术，现存的医院管理与服务体系也应进行相应的变革，其关键是引入数字人医生的理念和方法，实现医疗服务的知识自动化。因此，医院本身也必须虚实一体，将目前的医院信息系统进一步数字化、平行化和智慧化。此外，医院之间也应形成一种新型的合作关系，在“孤岛”和保护隐私的前提下，实现共同提高、共享服务。联邦医院体系就是面向这一方向的一种新的技术<sup>[5]</sup>。其核心就是利用区块链和 DAO 技术，以及面向人类的编程（HOP）和操作系统（HOOS），特别是引入数字人的数字人格与相应人类性格的适配算法，通过共识算法和联邦控制实现联邦数据，进而由智能合约和联邦管理实现联邦服务和联邦智能，构成智慧医院体系，走向真正集预

防、主动、精准、个性化于一体的平行系统智能健康与医疗，即“P5”医疗。

## 4 展望

毕宝德 (Peabody, 1881—1927) 是西方现代医学史上的传奇医生，他的传世名言是：“临床医生的一个基本品质就是人道精神，因为照顾好患者的秘诀就在照顾的过程之中 (One of the essential qualities of the clinician is interest in humanity, for the secret of the care of the patient is in caring for the patient)”。一百多年前，正是毕宝德帮助洛克菲勒基金会制定了创立北京协和医学院和医院的决策和规划。为了使“照顾好患者”从一门艺术成为一门科学，从而更好地救助患者，毕宝德引领美国医院和医学院发起从传统向近代科学变革的运动，在医院中引入实验室探索和案例研究制度，推动医生从传统匠人转为研究型学者。彼时正值传统医学向现代医学过渡的关键时期。他不但在哈佛医学院和波士顿城市医院推行并实践其理念，还力推将其纳入北京协和医学院和医院的建设方案和实施之中，认为“协和不但在人员、设备和设制上属世界一流，而且其选择和照顾患者的方法、医护人员学习与交流的方式尤其特色，可与当时世界上最先进的医学院在科学医疗前沿携手共进”<sup>[11]</sup>。

一百年后的今天，医学科技发生了天翻地覆的变化，但毕宝德“照顾好患者”的信念依然是医学的起源和目标。在巨大的科技进步之后，人们发现我们必须综合考虑医学的科技性、人文性和社会性，否则将无法“照顾好患者”。这正是以人工智能和智能科技为基础的智慧医疗的历史使命和动力：从复杂性科学、多学科交叉和组织系统化智能的角度，统筹人类健康的科学、人文、社会等属性，不但推动从“P4”至“P5”的精确智能医疗进程，还要加速实现“6S”的新一代人类智慧健康体系。

## 参 考 文 献

[1] Miller RA, Pople HE Jr, Myers JD, et al. Internist-1, an experimental computer-based diagnostic consultant for

general internal medicine [J]. *N Engl J Med*, 1982, 307: 468-476.

[2] Kulkarni S, Seneviratne N, Baig MS, et al. Artificial Intelligence in Medicine: Where Are We Now? [J]. *Acad Radiol*, 2020, 27: 62-70.

[3] Wang FY, Zhang JJ, Zheng X, et al. Where does AlphaGo go: from church-turing thesis to AlphaGo thesis and beyond [J]. *ACTA Automatica Sinica*, 2016, 3: 113-120.

[4] 王飞跃. 软件定义的系统与知识自动化：从牛顿到默顿的平行升华 [J]. *自动化学报*, 2015, 41: 1-8.

Wang FY. Software-defined Systems and Knowledge Automation: a Parallel Paradigm Shift from Newton to Merton [J]. *Zidonghua Xuebao*, 2015, 41: 1-8.

[5] 王飞跃. 平行医学：从医学的温度到智慧的医学 [J]. *智能科学与技术学报*, 2021, 3: 1-9.

Wang FY. Parallel medicine: from warmth of medicare to medicine of smartness [J]. *Zhineng Kexue Yu Jishu Xuebao*, 2021, 3: 1-9.

[6] Wang FY, Wong PK. Intelligent systems and technology for integrative and predictive medicine: An ACP approach [J]. *ACM Trans Intell Syst Technol*, 2013, 4: 32.

[7] Wang FY. Parallel Healthcare: Robotic Medical and Health Process Automation for Secured and Smart Social Healthcare [J]. *IEEE Trans Comput Soc Syst*, 2020, 7: 581-586.

[8] 王飞跃. 计算知识视觉：迈向智能视觉推理的新范式 [J]. *智能系统学报*, 2021, 16: 393.

[9] Zheng W, Yan L, Gou C, et al. A Relation Hashing Network Embedded with Prior Features for Skin Lesion Classification [C]. *2020 Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI)*, 2020: 115-123.

[10] 王飞跃, 金征宇, 苟超, 等. 基于 ACP 方法的平行医学图像智能分析及其应用 [J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55: 309-315.

Wang FY, Jin ZY, Gou C. ACP-based parallel medical imaging for intelligent analytics and applications [J]. *Zhonghua Fangshexue Zazhi*, 2021, 55: 309-315.

[11] Francis Peabody. Department of Medicine at the Peking Union Medicine College [J]. *Science*, 1922, 56: 317-320.

(收稿：2021-08-11 录用：2021-09-30 在线：2021-10-22)

(本文编辑：李娜)