

DOI:10.61189/559198tidrry

· 医学教育 ·

精准教育背景下医学教育治理数字孪生的构想与路径



张雯¹, 张敏¹, 马畅畅¹, 张梦瑶¹, 魏丽萍¹, 黄家祺¹, 王翔宇¹, 郑玉英¹,
余情^{1,2,3*}

1. 复旦大学附属中山医院教育处, 上海 200032
2. 复旦大学附属中山医院康复医学科, 上海 200032
3. 上海市老年医学中心康复医学科, 上海 201104

[摘要] 精准医学教育持续推进背景下, 教学医院医学教育治理已由传统经验型管理逐步走向数据支持型管理, 但现有模式整体上仍主要停留于教育证据链形成、画像分析和风险预测阶段, 对于干预后果推演、治理方案比较及系统级优化的支撑相对不足。基于此提出“医学教育治理数字孪生 (medical education governance digital twin, MEGDT)”概念, 并通过结合数字孪生相关理论、教学医院数据治理实践及国际前沿案例, 讨论 MEGDT 的概念内涵、实现构想及其治理价值。MEGDT 的潜在价值不仅在于提升医学教育治理的动态感知、推演和反馈能力, 还在于为教学医院在培养效果、资源投入、组织效率与教育公平之间寻求更优平衡提供决策支持。当前, MEGDT 仍处于概念提出与路径探索阶段, 后续宜围绕毕业后医学教育等场景开展最小可行原型研究, 并同步关注数据质量、模型可信度、隐私安全及成本效果平衡等问题。

[关键词] 精准医学教育; 数字孪生; 医学教育治理; 循证决策

[中图分类号] R 192 **[文献标志码]** A

Conceptualization and pathways of the medical education governance digital twin in the context of precision education

Zhang Wen¹, Zhang Min¹, Ma Changchang¹, Zhang Mengyao¹, Wei Liping¹, Huang Jiaqi¹, Wang Xiangyu¹, Zheng Yuying¹, Yu Qing^{1,2,3*}

1. Department of Education, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China
2. Department of Rehabilitation Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China
3. Department of Rehabilitation Medicine, Shanghai Geriatric Medical Center, Shanghai 201104, China

[Abstract] In the context of the ongoing advancement of precision medical education, governance in medical education within teaching hospitals has gradually shifted from traditional experience-based management to data-supported management. However, current approaches still largely remain at the stages of educational evidence-chain construction, profiling analysis, and risk prediction, with relatively limited capacity to support intervention consequence simulation, governance strategy comparison, and system-level optimization. Against this background, the concept of the medical education governance digital twin (MEGDT) is proposed. By integrating digital twin theory, data governance practices in teaching hospitals, and international frontier cases, this paper discusses the conceptual connotation, implementation framework, and governance value of MEGDT. The potential value of MEGDT lies not only in enhancing the dynamic perception, simulation, and feedback capabilities of medical education governance, but also in providing decision support for teaching hospitals to achieve a better balance among educational effectiveness, resource input, organizational efficiency, and educational equity. At present, MEGDT remains at the stage of conceptual proposal and pathway exploration. Future work should prioritize minimum viable prototype studies in scenarios such as postgraduate medical education, while also addressing data quality, model credibility, privacy and security, and cost-effectiveness balance.

[Key Words] precision medical education; digital twin; medical education governance; evidence-informed decision-making

[收稿日期] 2026-04-01

[接受日期] 2026-05-06

[基金项目] 上海市卫生健康委员会 2026 年卫生健康行业发展课题 (定向类) (2026HP30), 上海申康医院发展中心管理研究项目 (2025SKMR-21), 高等教育科学研究规划课题 (24CX0201), 复旦大学附属中山医院管理科学基金 (2024ZSGL14), 复旦大学附属中山医院医学人文和思政调研课题 (SZ2024-4)。Supported by Shanghai Municipal Health Commission Health Industry Development Project (Directed Category) (2026HP30), Shanghai Shenkang Hospital Development Center Management Research Project (2025SKMR-21), Higher Education Science Research Planning Project (24CX0201), Zhongshan Hospital, Fudan University Management Science Fund (2024ZSGL14), Zhongshan Hospital, Fudan University Medical Humanities and Ideological-Political Education Research Project (SZ2024-4)。

[作者简介] 张雯, 硕士, 主治医师; E-mail: zhang.wen1@zs-hospital.sh.cn

* 通信作者 (Corresponding author). 余情, 博士, 主任医师; E-mail: yu.qing@zs-hospital.sh.cn

近年来,胜任力导向医学教育(competency-based medical education, CBME)在全球范围内逐步由能力框架建构走向临床真实场景中的实施与验证。2025年《新英格兰医学杂志》述评^[1]指出,CBME的关键已不再局限于能力框架本身,而在于如何将能力培养更紧密地嵌入患者照护与日常诊疗流程之中。在此基础上,2026年《新英格兰医学杂志》述评^[2]进一步提出通过人工智能(artificial intelligence, AI)贯通医学院校教育、毕业后教育和继续教育各阶段的多源数据,识别学习者在知识、技能和沟通等方面的关键缺口,并通过定向轮转、病种补充、模拟训练、强化督导与持续反馈等,推动医学终身学习由统一路径走向更精准的动态支持^[2]。精准医学教育(precision medical education, PME)的核心^[3-6]并不在于单纯增加教育精细度,而在于借助纵向、多源、动态数据,实施持续识别、精准干预与反馈迭代,从而改进教育、临床和系统层面的结果。

对于教学医院而言,承担医学院校教育、毕业后教育和继续教育等多阶段任务,学习者来源异质、培养路径复杂、临床实践机会不均、评价节点密集,且教育教学过程与临床诊疗、科研发展和组织管理深度耦合。由此,PME在教学医院中的落地,已不只是个体教学优化问题,而是一个涉及复杂系统的科学治理问题。在此背景下,数字孪生^[7]作为一种集动态映射、预测分析和决策支持于一体的新兴技术,其强调的持续更新、前瞻预测与决策优化能力,恰可为PME在教学医院复杂场景中的治理落地提供新的方法学参照。本文拟对“精准教育背景下医学教育治理数字孪生”这一概念的提出背景、演进路径、核心能力、关键应用场景与实施路径进行初步讨论,以期在教学医院智慧治理中枢建设提供一种可能的分析框架。

1 PME模式下的治理挑战

1.1 PME对教学医院治理提出的新要求 PME强调基于纵向、多源、动态数据识别学习者差异,并据此实施更有针对性的培养支持,其目标不仅在于提升个体学习效果,也在于推动项目和组织层面的持续改进。与传统相对均质化、时间框架主导的培养模式相比,PME的推进意味着教育治理需要同时具备:(1)持续汇聚和整合多源数据的能力;(2)识别学习者差异和形成阶段性支持策略的能力;(3)对高风险对象进行前移预警的能力;(4)围绕有限资源开展动态配置和治理优化的能力。换言之,PME

模式下的医学教育治理,不再只是把培训流程管好,而是要逐步形成一种能够面向差异、响应变化并支撑优化决策的精准治理体系。

1.2 数据驱动治理的现实进展 (1)证据链形成:在PME持续推进的背景下,教学医院医学教育管理已由传统经验型管理逐步走向数据支持型管理。近年来,围绕教育数据底座建设、学习者画像、基地画像、成长报告、风险预警和教学数据平台等方面的探索不断增多,教育治理的数字化水平明显提升。尤其在医学教育三阶段即院校教育、毕业后教育和继续教育的多源数据开始被纳入统一治理视野,原本分散于不同阶段和不同系统中的数据逐步形成连续的教育证据链。这使管理者能够较系统地回答“有哪些人”“学习了什么”“结果如何”等基础问题,也为后续更深层的分析奠定了数据基础。(2)画像分析:借助纵向数据,学员画像不仅能够呈现学习者的基本特征,还可以描述其培养轨迹、成绩变化、能力短板和阶段性风险变化;基地画像则能反映不同专业基地在培养质量、学员表现、资源供给和运行特征上的差异。其核心价值,在于帮助管理者回答“谁存在差异”“差异表现在哪里”“风险可能集中于哪些对象或环节”等问题,从而把教育治理由笼统判断推进到分层识别。(3)模型预测:进一步基于过程数据对未来风险进行前移判断,包括对学员培养结果、阶段性达标风险及潜在能力短板的预测分析,强调回答“谁未来更可能出现风险”“哪些问题需要优先干预”等前瞻性问题。

1.3 国际前沿治理水平实例 以纽约大学格罗斯曼医学院^[8-9]为例,其依托医学院与医院一体化管理模式,建设覆盖临床医疗、医学教育、科研及管理的全方位仪表盘系统,实现全系统、全领域、各层级的数据互联互通;在此基础上,进一步发展个性化智能课程平台、临床模拟训练系统、全流程教学评估及管理系统等。其DX Mentor平台可联通电子病历系统与数字化教育资源,基于患者诊断信息为学生实时推荐研究论文、临床指南、病例分析及诊疗方案,并推送个性化学习指引;其NYUTron模型则利用大规模电子病历数据开展临床预测分析;相关系统还可追踪医学生进入临床见习及毕业生进入住院医师规范化培训阶段后的临床表现与胜任力指标。总体而言,这类实践已明显超越单纯静态画像,进入“数据整合—画像分析—模型预测—个性化支持”的中高阶阶段,代表了当前国际教学医院医学教育数字化治理的前沿水平。

1.4 从识别走向推演的关键缺口 在PME模式下,

现有治理模式仍存在待改进缺口:(1)已较擅长“识别问题”,但对“若在当前节点实施某种干预,未来可能出现何种变化”这一类前瞻性问题的支撑相对不足。(2)现有数据分析多集中于差异识别、风险提示和结果呈现,对不同培养策略、支持路径或资源配置方案之间的潜在效果比较,仍缺乏系统化模拟与推演机制。(3)在复杂教学医院场景中,学员培养、基地运行、资源供给和治理决策之间存在明显联动关系,而现有治理模式在系统级联动优化方面的支撑仍较有限。基于此,教学医院医学教育治理有必要在现有基础上进一步探索新治理技术,以回应PME模式下由“识别差异”走向“推演未来”和“优化系统”的需求。

2 医学教育治理数字孪生的构想与实现路径

2.1 数字孪生作为PME治理工具的理论契合 数字孪生最初源于工程与复杂系统管理领域。美国国家科学院、工程院和医学院在2024年报告^[7]中指出,数字孪生是对自然、工程或社会系统的虚拟信息构造集合,能够模拟其结构、情境与行为,并由真实系统数据动态更新,具备预测能力,且能够支持实现价值的决策;虚拟与物理之间的双向交互是数字孪生的核心。这一定义提示数字孪生是一种集动态映射、预测分析和决策支持于一体的系统形态。从这一意义上说,数字孪生所强调的持续更新、前瞻预测与决策优化能力,恰可为PME在教学医院复杂场景中的治理落地提供新的方法学参照。

2.2 医学教育治理数字孪生的概念 需要强调的是,本文所讨论的数字孪生,并非面向理论或技能训练的教学内容型数字孪生,而是面向教学医院教育管理与治理场景、服务于精准教育实施的治理型数字孪生。基于此,本文尝试将“医学教育治理数字孪生(medical education governance digital twin, MEGDT)”界定为:以教学医院医学教育运行体系为对象,基于多源异构数据构建学员、培养过程、专业基地、教育资源与组织运行的动态数字映射,并通过持续监测、差异识别、风险预警、情景推演和决策优化,支撑精准教育实施与教育治理改进的新型技术体系。

2.3 MEGDT的属性 借鉴数字孪生核心特征的概括^[7],MEGDT应具备以下基本属性:(1)面向特定教育运行对象,而非抽象平均人群;(2)能够基于教育运行过程中的真实数据持续更新;(3)具有预测、预警或情景推演能力,并能够进一步支持培养优化与治理决策;(4)现实教育运行中的决策与反馈结果

能够反过来影响后续数据采集、模型修正与系统运行。由此可见,MEGDT更接近一种服务于教育运行、培养优化与组织治理的复合型系统形态。

2.4 MEGDT的实现构想 MEGDT实现路径可考虑遵循“由基础到高级、由局部到系统、由识别到优化”的渐进策略。(1)以三阶段贯通的数据底座为前提,建设稳定的数据集成层,围绕统一身份主索引、核心指标口径、教育事件结构化表达、跨系统数据映射和更新机制,形成可持续流动的教育证据链,为数字孪生提供连续、可信的数据输入。(2)在数据底座之上构建面向学员、师资、基地、资源与培养过程的虚拟表示层,使系统不再停留于阶段性报告生成,而能够形成伴随教育运行持续更新的动态镜像。(3)建设模型更新与校准机制,即通过持续数据回流,对镜像状态、风险判断和关键参数进行动态修正;从方法学看,这一环节实质上是数字孪生区别于静态画像和一次性预测模型的关键所在。(4)在此基础上发展情景推演与仿真层,使系统能够围绕轮转优化、督导、补训、资源倾斜等治理动作,对不同方案进行前瞻性模拟与结果比较,从而支持管理者回答“若现在采取某种干预,未来可能发生什么变化”这一类关键问题。(5)进一步建立治理输出与反馈层,将风险识别、情景推演和方案比较结果转化为可执行的治理建议,并在干预实施后利用新数据对模型进行再训练、再校准和再评价,逐步形成“动态镜像—风险预警—情景推演—决策反馈—模型修正”的持续闭环。

3 MEGDT的治理新能力及其循证优化价值

3.1 MEGDT的治理新能力 相较于现有以证据链、画像分析和风险预警为主的数据驱动治理模式,MEGDT的新增价值在于其有望形成一种更高阶的治理新能力,包括(1)在持续数据更新基础上形成可动态感知的教育运行镜像,不再仅依赖阶段性状态呈现;(2)围绕轮转优化、督导、补训和资源倾斜等治理动作开展前瞻性方案比较,使治理由“识别问题”进一步走向“试算改法”;(3)将学员、基地、资源与组织运行纳入同一分析框架,提升跨层级联动诊断能力;(4)在干预实施后持续追踪结果变化,对策略和模型进行反馈修正,使教育治理逐步形成“实施—反馈—校正”的持续迭代机制。由此,MEGDT所指向的,不再只是更精细的状态识别工具,而是一种能够整合动态镜像、方案比较、联动诊断和反馈优化的高阶治理形态。

3.2 MEGDT的循证优化价值 MEGDT意义并不止

于提升医学教育治理的技术能力,还在于为教学医院教育决策提供一种更具循证特征的分析框架。PME已被界定为一种利用数据与技术改进个体化、效率与学习者能动性的系统性教育框架,其作用对象不仅包括个体学员,也包括项目和组织层面的持续改进。因此,在教学医院场景中,治理选择往往并非单纯的教学问题,而是同时涉及培养效果、资源投入、组织效率与教育公平的综合平衡。无论是高风险学员补训、基地督导强化、轮转结构调整还是师资投入增加,管理者真正需要回答的,不只是“哪种方案可能有效”,还包括“哪种方案在现实资源约束下更值得优先实施”“其增量收益是否足以覆盖新增投入”“不同策略在效率与公平之间如何权衡”。已有卫生职业教育研究^[10]提示,教育决策中的成本、价值和成本意识判断不应被忽视,而应成为资源配置讨论的重要组成部分。从这一意义上说,MEGDT可被进一步理解为一种面向循证治理与资源优化配置的决策支持工具,其潜在价值不仅在于预测和推演,更在于支持教学医院在培养效果、资源投入、组织效率与公平性之间寻求更优平衡。

4 讨 论

本文提出的MEGDT并非对数字孪生概念的简单移植,而是试图在PME持续推进背景下,为教学医院复杂场景中的教育治理提供一种新的分析框架。相较于现有围绕教育证据链、画像分析和风险预警展开的数据驱动治理模式,MEGDT的关键意义不在于进一步增加数据规模或叠加技术标签,而在于推动教育治理由阶段性识别走向持续更新,由风险发现走向方案比较,由局部判断走向系统联动,由经验决策走向循证优化。国际前沿实践表明,教学医院已可推进至数据整合、个性化支持和预测分析的中高阶阶段,但面向干预后果推演、治理方案比较、反馈校正与资源优化平衡的治理型数字孪生,整体上仍处于探索之中。就此而言,MEGDT更适合被理解为一种值得提出和前瞻布局的治理概念,而非已经成熟定型的现成系统。

综上所述,MEGDT所指向往的,不是脱离现实的

技术想象,而是教学医院医学教育治理在证据链、画像分析和预测模型基础上进一步走向动态推演、方案比较与循证优化的可能方向,也为本土医学教育三阶段贯通背景下医学教育治理能力的进一步升级提供了新的思考框架。

伦理声明 无。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

作者贡献 张雯:论文具体构思与撰写;张敏:论文框架指导;马畅畅、张梦瑶、魏丽萍、黄家祺:文献收集整理;王翔宇、郑玉英:论文审核与优化;余情:论文整体设计与修改。

参考文献

- [1] Iyer A A, Dubosh N M, Schwartzstein R M. Competency-based medical education at the front lines of patient care[J]. *N Engl J Med*, 2025, 393(15): 1548.
- [2] Desai S V, Khan S, Lomis K. AI-enabled precision-education systems—transforming lifelong learning in medicine[J]. *N Engl J Med*, 2026, 394(9): 838–841.
- [3] Patocka C, Harper L, Ellaway R H. Focusing on “precision” in precision education [J]. *Acad Med*, 2025, 100(12): 1421–1424.
- [4] Triola M M, Burk-Rafel J. Precision medical education [J]. *Acad Med*, 2023, 98(7): 775–781.
- [5] Desai S V, Burk-Rafel J, Lomis K D, et al. Precision education: the future of lifelong learning in medicine [J]. *Acad Med*, 2024, 99(4S Suppl 1): S14–S20.
- [6] Burk-Rafel J, Drake C B, Sartori D J. Characterizing residents’ clinical experiences—a step toward precision education [J]. *JAMA Netw Open*, 2024, 7(12): e2450774.
- [7] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Foundational Research Gaps and Future Directions for Digital Twins. Washington, DC: The National Academies Press; 2024.
- [8] 解静,刘久畅. 人工智能时代美国医学教育改革前沿案例分析及其启示[J]. *医学信息学杂志*. 2025, 46(8): 18–22.
- [9] Schaye V, Triola M M. The generative artificial intelligence revolution: How hospitalists can lead the transformation of medical education [J]. *J Hosp Med*, 2024, 19(12): 1181–1184.
- [10] Yaros J, Egbrink M O, Langenberg B, et al. Educator perspectives on costs and cost-conscious decision-making in health professions education: a Q-Method study [J]. *Adv Health Sci Educ Theory Pract*, 2026, 31(2): 619–640.

引用本文

张雯,张敏,马畅畅,等. 精准教育背景下医学教育治理数字孪生的构想与路径[J]. 元宇宙医学, 2026, 3(2): 138–141.
Zhang W, Zhang M, Ma C C, et al. Conceptualization and pathways of the medical education governance digital twin in the context of precision education[J]. *Metaverse Med*, 2026, 3(2): 138–141.