

DOI:10.16781/j.CN31-2187/R.20220275

• 海洋军事医学 •

数字孪生技术在援外医疗队培训中的应用

刘夏阳¹, 芦超越¹, 刘晓荣¹, 陈国良^{1*}, 任东彦²

1. 海军军医大学(第二军医大学)海军卫勤训练基地卫勤训练室, 上海 200433

2. 海军军医大学(第二军医大学)海军卫勤训练基地军事训练室, 上海 200433

[摘要] 数字孪生作为连接现实与虚拟、解决物理信息融合、推行智慧制造理念的全新技术, 成为各行业领域的关注热点。援外医疗作为一种成熟的外交模式, 已成为我国参与全球卫生治理、分享医疗经验、履行国际义务的重要载体。本文在介绍数字孪生技术特点的基础上, 针对目前援外医疗过程存在的不足, 讨论了将数字孪生技术应用于援外医疗队行前培训的可能性, 并对其应用需求与现阶段面临的挑战进行了探讨。

[关键词] 数字孪生; 数字镜像; 援外医疗; 培训

[中图分类号] R 192 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-1338(2023)02-0245-06

Application of digital twin technology in training medical aid teams to work in foreign countries

LIU Xia-yang¹, LU Chao-yue¹, LIU Xiao-rong¹, CHEN Guo-liang^{1*}, REN Dong-yan²

1. Department of Medical Service Training, Naval Medical Service Training Base, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

2. Department of Military Training, Naval Medical Service Training Base, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[Abstract] As a new technology that connects reality and virtuality, solves the integration of physical information, and promotes the concept of smart manufacturing, digital twin has become a focus in various industries. As a mature diplomatic model, foreign medical aid has become an important way for our country to participate in global health governance, share medical experience, and fulfill international obligations. By introducing the characteristics of digital twin and the shortcomings of the current foreign medical aid work, this paper discusses the possibility of applying digital twin for the pre-departure training of foreign medical aid teams, and also explores the application requirements and current challenges.

[Key words] digital twin; digital mirror image; foreign medical aid; training

[Acad J Naval Med Univ, 2023, 44(2): 245-250]

作为信息、数据和工程学的交叉产物, 数字孪生(digital twin)技术与传统行业加速融合, 改变着人类与自然物理世界的互动方式。在医疗领域, 数字孪生技术在诊断与治疗决策支持、智能教学培训、病员监护、医学多维成像、手术模拟与风险评估、救治流程设计与优化、药物试验与监管监测等方面的应用日趋广泛, 成为未来最重要的技术之一^[1-5]。援外医疗是我国对外援助的重要组成部分, 截至2021年我国已先后向亚洲、非洲、拉丁美洲、大洋洲和欧洲的60余个国家及地区派出军地医疗援助力量, 可以说援外医疗是构建人类卫生健

康共同体的具体实践^[6-7], 是展现中国担当的重要体现^[8]。因此, 探索数字孪生技术在援外医疗队行前培训中的应用, 聚焦外援工作过程中的难点和重点, 弥补既往培训过程中的漏点、盲点和薄弱点, 对提升援外医疗队队员的适应能力、管理能力、救治能力及扩大援外医疗队的区域影响力和被认可度有重要意义。

1 数字孪生技术的概念与特点

数字孪生(或数字镜像)被视为一种基于对象、数据、过程和方法的超越现实的多尺度、多

[收稿日期] 2022-04-04

[接受日期] 2022-11-14

[基金项目] 军队科研重点项目(BHJ17R012), 军队生物安全重点专项课题(20SWAQX46)。Supported by Key Military Scientific Research Project of PLA(BHJ17R012) and Key Project for Military Biosecurity of PLA(20SWAQX46)。

[作者简介] 刘夏阳, 硕士, 讲师。E-mail: liuliux564@126.com

*通信作者(Corresponding author)。Tel: 021-81872088, E-mail: cgl307@126.com

变量和多概率的概念集合与技术体系^[9-10],其概念最早由美国密歇根州立大学的 Michael Grieves 教授以“信息镜像模型”和“数字等同体”的方式提出。随后,美国国防部正式利用基于数字孪生状态的维护技术对航空航天飞行器进行载荷评估、质量维护与周期保障,拉开了数字孪生技术应用于军民各行业的序幕^[11-13]。如图 1 所示,在基础共适性框架、数据链与物联协作技术、互换性能无缝集成、“信息-物理”转化基准、智能安全测评等核心技

术的支撑下,数字孪生充分利用对自然环境、物理模型、行动结构、特情特例等多维属性和多种数据的选定、分析与判断,通过高精度的拆解与合成、传感器的捕获与更新、历史和动态数据的挖掘与积累、镜像检验的嵌入与循环及全生命周期(或使用周期)伴随演进,完成实体在虚拟空间的等比、等性、等装和等价还原,为使用者提供一个孪生的“镜像”平台。

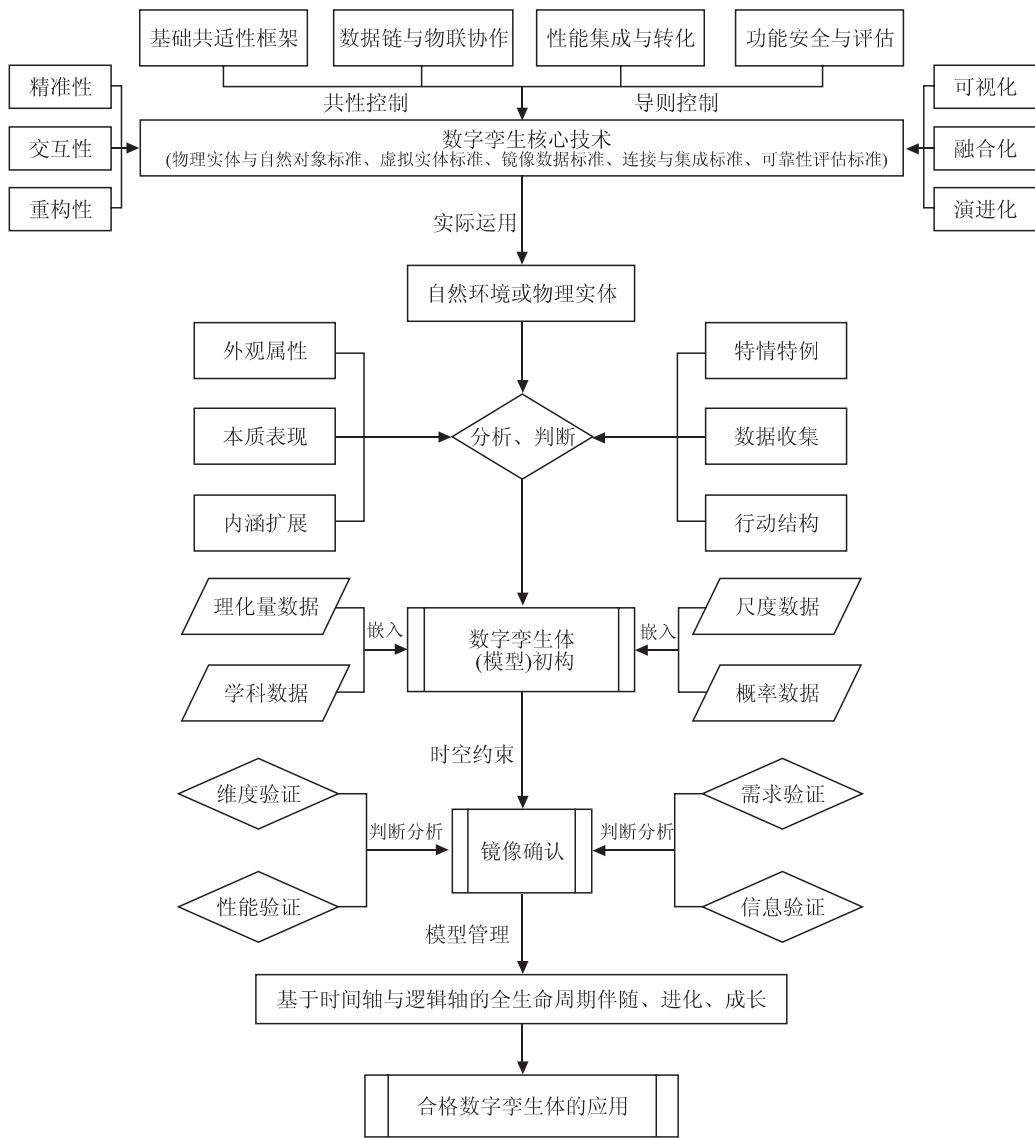


图 1 数字孪生体的生成流程

1.1 高度逼真的对象映射 高逼真、高精度、高仿形还原的核心在于对自然世界和物理对象全周期、全时空、全流程、全要素和全内涵的等值、等量动态复刻。以实体或环境的特征为建模蓝本,突出需求、概念、逻辑、向量、规格、状态和属性等 7 个方面的“双胞胎”式还原,通过数字表达、数字

预测、数字雕刻和数字离散与融合,驱动数据组团在虚拟平台中对实物实景的全面呈现、精确表达和自修自愈,实现自然物理系统向虚拟空间数字化、基准化、回路化和高性能化的映射与反馈^[14-15],保证还原对象与真实对象的协调统一。

1.2 多源多维的数据生态 数字孪生的基础在数

字,核心是以共享、融合、链接为特征的数据生态。通过数字全域感应和“数物边缘模型”技术对源于物理实体、运行系统、传感资源和异构维度数据的汇聚管理、筛选应用和动力支撑,涵盖对象设计、环境采集和虚拟成像过程并贯穿物理对象和孪生对象匹配运行始终^[16],在确保异源异构数据可靠性和可控性的同时,于基础层、使用层、反应层和物联层形成融合共享的“骨骼”“内核”与“外观”,完成数据源、数据池、数据树和数据组内部与彼此的调度管理和开放扩展,实现孪生数据的健康生态。

1.3 共生演进的伴随轨迹 如图2所示,基于对

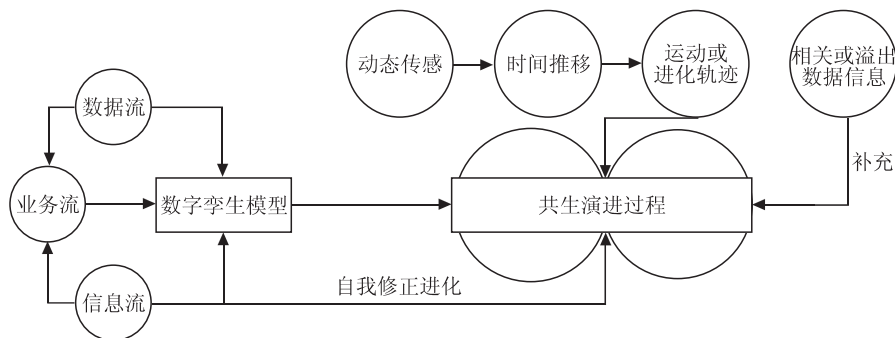


图2 数字孪生模型演进图

1.4 智能交互的多模运用 在虚拟现实沉浸交互和想象交互的基础上,数字孪生技术更强调通过特点端口、指令与智能成长在使用者与映射体之间、映射体与多物理实体之间、多孪生模型组群之间、要素载体与迭代进化之间实现多物理量、多虚拟面、多镜像流和多信息包的动态反馈式交互,从而形成更全面、更生动、更客观、更彻底的关联描述与协同系统^[19-20],通过模型共享、参数互补、维度调解和尺度重构助力物理路径与决策的优化与改进,满足数字孪生体可修正、可拓展、可配置的实景“灵活性”。

2 数字孪生技术在援外医疗队培训中应用的需求

军地援外医疗队员身处海外异域,具有人文地理环境陌生、医疗条件有限、医疗资源紧张、本地传染病肆虐、语言交流困难等特点,常常面临各种风险与不利因素叠加的挑战。有资料显示,目前我国援外医疗存在着以下问题:(1)专业能力不突出,医疗援助内容面狭窄;(2)援外队伍建设滞后,医疗质量管理存在不足;(3)援外医疗资源分散,合作合力机制尚未形成等^[21-22]。丰富行前培

训内容、优化教培方式是提升医疗队凝聚力、提高队员医疗水平和环境适应力的重要手段之一^[23-24]。相关培训机构(或训练基地)可按照“可用、能用、好用”的原则,将数字孪生等新技术融入援外医疗队的培训过程,在创新培训思路、方法和模式及夯实医疗队队员的专业基础、强化质控管理的建设力度、统筹医疗资源的合作机制等方面进行积极探索。

2.1 多维时空环境与多维智慧模拟患者模型的构建 高还原度构建受援地区的物理自然环境是培训的基础所在,利用数字孪生多维虚拟核心引擎,将受援地区的自然地理环境、极端气候、四季变化等具有多源性、多维度、动态性、时序性和空间性特征的数值进行编码读入、整合分析,突出海陆位置、地形地貌、植被覆盖、气候类型、蚊虫分布、常见灾害等场景的模拟,完成对环境构造的“孪生数字化、运行动态化、时空调整一致化、虚拟与现实同步化”,同时通过时间和空间驱动引擎支撑让虚拟构造环境由原先的被动响应向主动响应转变,环境模拟变化过程由粗放性控制向精确性控制转变,使参训队员有身临其境之感。医疗的受众主体

是患者,构建符合受援国和受援地区疾病分布特征的等比患者模型是夯实队员医疗技能、提升援外医疗质量的基础所在。在梳理历史病例数据并与现实病例数据对比分析的基础上,针对患者实体的重要病变部位和关键系统进行逐一扫描和重构,利用基于人体动力学和生物力学的传感捕捉技术获得患者的空间位置向量和姿态状况,融合患者基本生命体征、血常规、血生物化学、炎症指标、凝血功能、组织变化等动态变量,完成对患者外形和表情信息、疾病外显姿态数据、空间力学和分布位置等多种异构数据的整合,实现虚拟患者与患者实体的全要素架构和对接^[25]。同时,在虚拟患者(以受援地常见病、流行病和特殊病种为主)治疗全过程、全周期融入阶段性生命体征、动态化治疗环境和所在地医疗资源分配等多维可变的模型子体和元素载体^[26],通过数字孪生时间进化功能实现模型的自比对、自修正、自优化,真正使每一个孪生体都是“独一无二”的智能对象。

2.2 适应性培训项目的构建 适应性项目是以胜任援外医疗岗位能力和职业素养为重点的教学培训,目的是运用数字孪生技术中基于多物理量、多尺度、多数化测量系统的生产仿真和控制功能来替代既往培训中人工设置、推送和监测课程。如在援非医疗队培训项目编设中,改变“一勺烩”“吃大锅饭”的培训模式,充分结合队员所属医院特点、专业特点、技能特点与援助区域医疗特点,以本质数据源和实时数据流为牵引,在数据服务、数据应用、数据挖掘和数据分布与计算层面制定适应性、个性化培训项目,并根据教学反馈在对象模型定义、编码策略、解算方法等方面进行调整,实现面向不同专业、不同领域的多要素兼容复用,从而在保障数字孪生项目高效性、科学性、协调性的基础上满足标准性、适应性运用,让每名队员获得最佳的培训效果。

2.3 诊疗决策与质量辅助管理的构建 将疾病的诊疗过程分解成数据流进行分析、判别并加以优化,是促进医疗队队员提升地域性疾病诊疗水平和能力的重要一环。通过数字孪生技术中的数据等价刻画功能,以“物理实体-行为发展-生态关系-准则建立”的顺序原则将诊疗数据流切割成物理模型、生物模型、几何空间模型、疾病进展模型、受训对象诊疗行为耦合模型和规范化诊疗标准模型

等,这些模型涵盖了疾病理论、诊疗实践、过程校正和结论输出等维度和参数,以保证受训对象在训练时出现的错误和偏差能完整地反映在模型行为中^[27-29]。基于孪生数据迭代计算与预测将使模型能够根据诊疗程序、过程和变化进行演化更新,同步展示该类错误或偏差对模型性能及临床结果产生的影响规模,并按疾病进展阶段、诊疗步骤和操作层次提供修正方案,从而提升受训者对地域性疾病诊断和救治的准确性。

2.4 培训资源共享生态的构建 利用数字孪生技术中的数字线程功能将不同医院、不同省市、军地之间的教学虚拟体以双向耦合的方式纳入跨领域、跨层次、跨尺度、跨视图、跨时空的系统全生命周期和价值链的框架之中,以逻辑连贯性和服务元素一致性为桥梁,在孪生体属性化、可视化、程序化和规划化方面建立可实时追踪、可动态验证、可同步更新、可交互关联的“数化”共享生态圈,使得医院、院校、社会、部队等多方培训内容能够互通有无、取长补短,使优质资源能被高效、有序利用,推动援外医疗行前培训持续健康发展。

3 现阶段面临的困难与挑战

3.1 技术交互通用方面 目前,受交互接口、指令模式、交互准则差异的影响,不同专业、不同领域孪生体在本体和要素的交互融合方面存在一定的阻碍,系统内处于离散分布状态的数据孤岛、信息孤岛和控制孤岛仍然存在。模型间的互补协议、共享采传的构建工程依然较为复杂,存在可用融合资源较少、内在机制梳理量较大、通用性和易用性程序语言开发成本较高,以及单元型模型与组群型模型之间、特殊模型与共性模型之间双向验证较为困难等情况。

3.2 传感与还原的精度方面 数字孪生技术的重点目标在于构造一个与物理实体同等的虚拟模型来反映和分析物理实体现在及未来的状态行为,高精度、高灵敏度的传感监测是实现数字孪生的重要基础,也是从物理实体到高保真、高质量的虚实实体的重要入口。目前,医疗领域数字传感系统的研发和使用尚处于较为初级的阶段,而不同行业间的传感捕捉实践标准的兼容性仍待进一步提升,导致构建的医学镜像体在还原度方面与实际现实体之间存在一定差异,并不能完全保障等比、等值、等

量、等容复制。

3.3 数据漂移与安全方面 数据驱动是建立数字孪生体的核心动力,数字孪生模型的精准化源于物理实体数据的原始性、准确化、稳定性和安全性,可以说,真实可信、精确可用、安全可靠的数据源能够满足模型有效性的需求是模型发挥应用作用的前提条件。但受数字克隆边界的移位、编码策略和程序的改变、通道径路的跳出及数据协议和算法临时变化的影响,部分数据在收集过程中会呈现脆弱、易变的状态,在进入建模数据仓后发生偏离于物理对象标准、正常或预期数值的情况,形成数据漂移。同时,新技术迭代加速了数字孪生与数据链、物联网、云储存和人工智能技术的联手^[30-31],更复杂的侵入路径、更隐蔽的侵入方式和更具威胁的侵入深度进一步增加了数据偏移、数据迷惑、数据空缺的可能性,导致医疗模型建立后出现信息无法识别、同属性要素排斥、诊断效率阶梯式下降、微观体征变形甚至内部崩塌的情况。

4 小 结

数字孪生技术利用高仿真虚拟模型科学严肃地反映现实世界、探索未知领域、预测未来世界,给当前医疗领域的发展提供了独特的思维、理念和方式,在继续医学教育、诊疗系统研发、急诊救治应用、辅助诊断判别和手术介入等方面均获得不错的成绩^[32]。援外医疗作为我国对外援助必不可少的组成部分,已成为我国履行国际义务、担当国际责任的重要领域,因此,援外医疗队的组成与行前培训尤为重要。新科技赋能变革,创新赋能升级,应以数字孪生技术为核心,以提升培训质效为目的,以援外医疗特点和受援国医疗需求为依托,持续夯实医疗队队员地域性疾病鉴别和诊断技能,规范诊疗流程,提高抗压和抗突发情况的能力,推动援外医疗培训可持续化发展。同时,也要看到数字孪生技术现阶段存在的弱点、盲点和争议点,需要技术人员、医疗人员、培训机构和研发中心等多方面协作努力,优化改进,使之真正助力援外医疗队综合能力与技术水平的提升。

[参考文献]

[1] GEJO-GARCÍA J, RESCHKE J, GALLEGO-GARCÍA S, GARCÍA-GARCÍA M. Development of a system dynamics simulation for assessing manufacturing

systems based on the digital twin concept[J/OL]. Appl Sci, 2022, 12: 2095. DOI: 10.3390/s21248266.

- [2] BOTÍN-SANABRIA D M, MIHAITA A S, PEIMBERT-GARCÍA R E, RAMÍREZ-MORENO M A, RAMÍREZ-MENDOZA R A, DE J LOZOYA-SANTOS J. Digital twin technology challenges and applications: a comprehensive review[J/OL]. Remote Sens, 2022, 14: 1335. DOI: 10.3390/rs14061335.
- [3] 张昌福,严芸,杨灵运,杨文峰.数字孪生技术与工业互联网的融合应用场景与路径研究[J].中国信息化,2022:96-97,100.
- [4] SUN T Z, HE X W, SONG X G, SHU L M, LI Z H. The digital twin in medicine: a key to the future of healthcare?[J/OL]. Front Med (Lausanne), 2022, 9: 907066. DOI: 10.3389/fmed.2022.907066.
- [5] GLISZCZYŃSKI M, CISZEWSKA-MLINARIČ M. Digital twin and medical devices: technological significance of convergent inventions[J]. J Glob Inf Technol Manag, 2021, 24: 134-148.
- [6] 张国,韩林,蒙强,黄文新.广西援非医疗工作回顾与展望[J].中国临床新医学,2021,14:1159-1162.
- [7] 朱丽辉,王莉,丁向,梁游游,刘诗莹.创新医学援外项目之海外培训[J].中国卫生人才,2020:66-68.
- [8] 黄毓.新时期援非医疗工作的挑战与对策[J].现代医院,2021,21:1655-1658.
- [9] 陶飞,刘蔚然,张萌,胡天亮,戚庆林,张贺,等.数字孪生五维模型及十大领域应用[J].计算机集成制造系统,2019,25:1-18.
- [10] 张霖.关于数字孪生的冷思考及其背后的建模和仿真技术[J].系统仿真学报,2020,32:1-10.
- [11] BHANDAL R, MERITON R, KAVANAGH R E, BROWN A. The application of digital twin technology in operations and supply chain management: a bibliometric review[J]. Supply Chain Manag Int J, 2022, 27: 182-206.
- [12] TUEGEL E J, INGRAFFEA A R, EASON T G, SPOTTSWOOD S M. Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin[J]. Int J Aerosp Eng, 2011, 2011: 1-14.
- [13] QIU C, ZHOU S E, LIU Z Y, GAO Q, TAN J R. Digital assembly technology based on augmented reality and digital twins: a review[J]. Virtual Real Intell Hardw, 2019, 1: 597-610.
- [14] 蒲天骄,陈盛,赵琦,王新迎,张东霞.能源互联网数字孪生系统框架设计及应用展望[J].中国电机工程学报,2021,41:2012-2029.
- [15] LIM K Y H, ZHENG P, CHEN C H. A state-of-the-art survey of digital twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives[J]. J Intell Manuf, 2020, 31: 1313-1337.
- [16] 王巍,刘永生,廖军,蔡一欣.数字孪生关键技术及体

- 系架构[J]. 邮电设计技术, 2021(8):10-14.
- [17] 刘大同, 郭凯, 王本宽, 彭宇. 数字孪生技术综述与展望[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39:1-10.
- [18] 陶飞, 张贺, 戚庆林, 徐俊, 孙铮, 胡天亮, 等. 数字孪生模型构建理论及应用[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27:1-15.
- [19] 闫君子, 张家军. 智慧教材的功能模型建构及实现路径[J]. 开放教育研究, 2021, 27:80-89.
- [20] WILHELM J, PETZOLDT C, BEINKE T, FREITAG M. Review of digital twin-based interaction in smart manufacturing: enabling cyber-physical systems for human-machine interaction[J]. *Int J Comput Integr Manuf*, 2021, 34: 1031-1048.
- [21] 杜昌勇, 方硕文, 余林夏子, 汤质如, 卢曼曼. 安徽省赴南苏丹医疗队员援外工作需求调查与分析[J]. 中国农村卫生事业管理, 2021, 41:883-888.
- [22] 左耘. 中国援外医疗队的贡献及面临的挑战[J]. 国际经济合作, 2013(11):8-10.
- [23] ZACKOFF M W, RIOS M, DAVIS D, BOYD S, ROQUE I, ANDERSON I, et al. Immersive virtual reality onboarding using a digital twin for a new clinical space expansion: a novel approach to large-scale training for health care providers[J/OL]. *J Pediatr*, 2023, 252: 7-10.e3. DOI: 10.1016/j.jpeds.2022.07.031.
- [24] ZACKOFF M W, LIN L, ISRAEL K, ELY K, RAAB D, SAUPE J, et al. The future of onboarding: implementation of immersive virtual reality for nursing clinical assessment training[J]. *J Nurses Prof Dev*, 2020, 36: 235-240.
- [25] CROATTI A, GABELLINI M, MONTAGNA S, RICCI A. On the integration of agents and digital twins in healthcare[J/OL]. *J Med Syst*, 2020, 44: 161. DOI: 10.1007/s10916-020-01623-5.
- [26] BJÖRNSSON B, BORREBAECK C, ELANDER N, GASSLANDER T, GAWEL D R, GUSTAFSSON M, et al. Digital twins to personalize medicine[J/OL]. *Genome Med*, 2019, 12: 4. DOI: 10.1186/s13073-019-0701-3.
- [27] 胡天亮, 连宪辉, 马德东, 马嵩华, 孔胜利. 数字孪生诊疗系统的研究[J]. 生物医学工程研究, 2021, 40:1-7.
- [28] MARTINEZ-VELAZQUEZ R, GAMEZ R, EL SADDIK A. Cardio twin: a digital twin of the human heart running on the edge[C]//2019 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA). Istanbul, Turkey: IEEE, 2019: 1-6.
- [29] THIONG'O G M, RUTKA J T. Digital twin technology: the future of predicting neurological complications of pediatric cancers and their treatment[J/OL]. *Front Oncol*, 2022, 11: 781499. DOI: 10.3389/fonc.2021.781499.
- [30] 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, 12:829-833.
- [31] 李博, 王宁, 叶庆恩. 基于数字孪生技术的设备全生命周期管理[J]. 化工管理, 2022(18):110-113.
- [32] 陈玉倩, 侯晓慧, 朱碧帆, 金春林, 李芬. 数字孪生在精准医疗应用中的研究进展和挑战[J]. 海军军医大学学报, 2023, 44:97-101.
- CHEN Y Q, HOU X H, ZHU B F, JIN C L, LI F. Digital twin in precision medicine application: research progress and challenges[J]. *Acad J Naval Med Univ*, 2023, 44: 97-101.

[本文编辑] 尹 茶