



预见未来 中国元医院建设发展 调研报告

2024



瑞金医院
RUIJIN HOSPITAL



上海市数字医学创新中心
Shanghai Digital Medicine Innovation Center



中国信通院

版权声明

本调研报告的版权属于上海交通大学医学院附属瑞金医院、上海市数字医学创新中心、中国信息通信研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本调研报告文字或者观点的，应注明“来源:上海交通大学医学院附属瑞金医院、上海市数字医学创新中心、中国信息通信研究院”。违反上述声明者，将追究其相关法律责任。

前 言

随着下一代网络和算力基础设施的不断发展，以及大数据、人工智能、虚拟现实等信息技术的日臻成熟，虚拟世界与现实世界在身份、社交、工作、生活等领域的融合日益密切，允许人们在其中去创造、扩充和交流；把跨时空、跨地域、跨载体、跨媒介融为一体，从而构成一个基于现实但又超越现实的虚实融合社会新形态。

“医院”是患者接受治疗、照护、生活的重要场所。在虚实融合相关技术赋能下，医院形态突破线下实体物理空间不断向线上虚拟空间扩展，从二维平面向三维空间延伸，这种趋势也推动着临床医疗、运营管理、患者服务模式和内涵不断改变。在强大算力支撑下，基于数据流、知识流构建数智驱动、虚实融合、人机融生，同时涵盖虚拟空间医院和物理空间实体医院“一体双生”的“元医院”设想由此产生。其强直观性、强交互性、强智能化、高开放性等特点或成为未来医院演进方向，但其落地实践仍处于初步探索阶段。

上海市数字医学创新中心（下称“数创中心”）经上海市人民政府批准设立，由市卫健委作为指导单位，是上海交通大学医学院附属瑞金医院内设的平台性功能机构。数创中心关注并研究国内外数字医学领域发展近况，筹建数字医学创新平台，深入推进医疗数字化转型，助力上海落实“具有

全球影响力的科技创新中心”国家战略。在数创中心众多的工作内容中，中国元医院的建设和管理成为行业内备受关注的话题。为了探索未来医院的生态、更好地推动中国元医院的发展和应用，数创中心与中国信息通信研究院共同撰写这份中国元医院建设发展调研报告。

本报告梳理了元医院发展背景、提出元医院的定义、阐述了元医院的内涵；介绍国内外元医院发展现状、构建元医院建设依赖的技术体系、描绘技术供给侧产业生态、提炼典型应用场景；阐述存在的问题与挑战、探索性给出对策建议，并对未来发展方向进行展望。

在撰写过程中，数创中心与中国信通院对医院和厂商从供需双方视角进行了深入的案头调研、访谈调研、问卷调研，总结出元医院国内外先行先试的行业经验和观点理念。同时我们也希望本报告能够引发行业参与者对中国元医院标准研制、技术研究、场景发掘、模式探索等的思考，力求为中国元医院建设和发展提供有力支持和宝贵经验。

本报告凝聚着行业各方的专业知识和敢为人先的实践智慧。我们有理由相信，对元医院的深入研究将有助于推动数字医学创新发展，为患者和医护人员创造更好的医疗空间和就医体验，进一步提升中国医疗服务质量和可及性。

编委会

参编单位

上海交通大学医学院附属瑞金医院

上海市数字医学创新中心

中国信息通信研究院

编委会成员

名誉主编： 宁 光

主编： 胡伟国 闵 栋

执行副主编： 朱立峰 冯天宜

副主编： 柏志安 赵 艳

参编人员（按姓氏拼音排序）

崔 婷 高 宇 顾骁俊 贺 倩 贺 迟 黄秋悦

季士林 刘硕鹏 刘 宇 路 宽 沈 洋 施 珏

邵 炜 徐宇辰 杨郁青 严晓晓 朱 静 朱为元

朱文阁

目 录

一、元医院概述	10
1.1 元医院发展背景	10
1.2 元医院定义与内涵	14
1.3 元医院国内外发展现状	19
1.3.1 元医院国外发展现状	19
1.3.2 元医院国内发展现状	23
1.3.3 国内外元医院发展现状对比与总结	30
二、元医院技术体系与产业生态	32
2.1 元医院技术架构	32
2.1.1 基础设施层	33
2.1.2 数据汇聚层	33
2.1.3 知识抽取层	33
2.1.4 虚拟构建层	34
2.1.5 用户接入层	34
2.1.6 应用场景层	35
2.1.7 智能决策层	35
2.1.8 安全保障层	36
2.2 元医院关键技术与代表企业	37
2.2.1 基础设施层技术	47
2.2.2 数据汇聚层技术	50
2.2.3 知识抽取层技术	50
2.2.4 虚拟构建层技术	51
2.2.5 用户接入层技术	54
2.2.6 应用场景层技术	57
2.2.7 智能决策层技术	59
2.2.8 安全保障层技术	60
三、元医院典型应用场景	63
3.1 元诊室：多模态数据融合的诊疗空间	65
3.1.1 全流程智能元服务	66
3.1.2 远程咨询和虚拟会诊	70
3.1.3 虚实融合疾病筛查和辅助诊断	74
3.1.4 虚实融合数字疗法疾病干预	76
3.2 元手术室：虚实融合的操作空间	79
3.2.1 术前三维虚像方案模拟	81
3.2.2 术前三维虚像患者教育	83
3.2.3 术中三维虚像辅助	85
3.3 元病房场景：线上线下融合的疗愈空间	87
3.3.1 元病房数字孪生	88
3.3.2 VR 远程探视	89
3.3.3 数字化身匿名交流	90

3.3.4 增强虚拟护理	91
3.2.5 虚拟康复训练	93
3.3.6 虚拟智能随访	95
3.3.7 床位智能调度	99
3.4 元科研场景：仿真的智慧实验空间	101
3.4.1 仿真模拟临床试验	101
3.4.2 药物研发虚拟辅助	105
3.4.3 元科研数字人模型	106
3.5 元教学场景：沉浸式智能培训空间	109
3.5.1 生理结构及机理模拟教学	110
3.5.2 专业实操模拟教学	111
3.6 元管理场景：虚实联动的运营管理空间	114
3.6.1 数字孪生院区	115
3.6.2 元医院指挥中心	116
3.6.3 元医院人财物运营管理	118
3.6.4 元医院后勤综合管理	122
3.7 场景落地预期	127
3.8 元医院运营管理模式建立	132
3.8.1 元医院运营管理组织的改变	132
3.8.2 元医院运营管理模式的变化	136
四、元医院挑战与展望	141
4.1 问题与挑战	141
4.1.1 医院遇到的挑战	141
4.1.2 厂商遇到的挑战	144
4.2 建议与展望	146
4.2.1 元医院建设的三大建议	146
4.2.2 元医院建设的四大趋势	149
附录 元医院典型标杆案例	152
上海交通大学医学院附属瑞金医院数字孪生智能综合运管平台	152
北京大学肿瘤医院“数字孪生患者”模拟仿真药物临床试验	153
浙江省卫生健康委推出全国首个可陪诊数字人	155
华中科技大学同济医学院附属协和医院新冠肺炎混合现实医学影像指导肺炎救治 ...	156
致 谢	157
参考文献	158

图目录

图 1 医院认为的元医院建设驱动力	13
图 2 厂商认为的元医院建设驱动力	13
图 3 医院认为元医院和实体医院的最显著区别	18
图 4 医院已经建设的元医院场景	27
图 5 医院规划将要建设的元医院场景	28
图 6 元医院技术架构	32
图 7 元医院典型应用场景	63
图 8 PC 端视角下的活体心脏模拟用于测试新医疗设备	103
图 9 VR 眼镜视角下的活体心脏模拟用于测试新医疗设备	104
图 10 医院对场景的需求迫切程度	129
图 11 厂商对应用场景落地的技术预期	131
图 12 基于虚实融合的运营绩效管理平台架构	134
图 13 医院认为当前元医院建设存在的问题与挑战	141
图 14 厂商认为当前元医院建设存在的技术问题与挑战	144
图 15 医院对元医院建设和可持续运营的建议	148
图 16 厂商对元医院建设和可持续运营的建议	148
图 17 医院认为元医院将带来的新岗位、新职能或新部门	151
图 18 一体化数字孪生智慧运管系统大屏端	152
图 19 虚拟临床试验部分建模方法简要技术路线	154
图 20 数字人陪诊师“安诊儿”	155
图 21 医务人员通过手势操纵影像	156

表目录

表 1 元医院关键技术与代表企业列表	38
表 2 全流程元服务场景应用到的元宇宙关键技术	70
表 3 远程咨询和虚拟会诊场景应用的元宇宙关键技术	73
表 4 疾病筛查和辅助诊断场景应用的元宇宙关键技术	76
表 5 虚实融合数字疗法疾病干预场景应用的	79
表 6 术前三维虚像方案模拟场景应用的元宇宙关键技术	83
表 7 术前三维虚像患者教育场景应用的元宇宙关键技术	85
表 8 术中三维虚像辅助场景应用的元宇宙关键技术	86
表 9 元病房数字孪生场景应用的元宇宙关键技术	88
表 10 VR 远程探视场景应用的元宇宙关键技术	89
表 11 数字化身匿名交流场景应用的元宇宙关键技术	91
表 12 虚拟增强护理场景应用的元宇宙关键技术	92
表 13 虚拟康复训练场景应用的元宇宙关键技术	94
表 14 智能随访场景应用的元宇宙关键技术	97
表 15 床位智能调度场景应用的元宇宙关键技术	99
表 16 仿真模拟临床试验场景应用的元宇宙关键技术	104
表 17 药物研发虚拟辅助场景应用的元宇宙关键技术	106
表 18 元科研数字人场景应用的元宇宙关键技术	107
表 19 生理结构及机理模拟教学场景应用的元宇宙关键技术	110
表 20 专业实操模拟教学场景应用的元宇宙关键技术	113
表 21 数字孪生院区应用的元宇宙关键技术	116
表 22 元医院指挥中心应用的元宇宙关键技术	118
表 23 元医院人财物运营管理场景应用的元宇宙关键技术	121
表 24 元医院后勤综合管理场景应用的元宇宙关键技术	125
表 25 医院比较需要的场景中厂商技术实现的难度预期	130

一、元医院概述

1.1 元医院发展背景

传统医院曾一度管理粗放，面临运营效率有待提高、资源配置不合理、患者体验不佳等诸多挑战。在国家“建立以人民健康为中心的医疗服务体系，确保医疗资源的公平分配和医疗服务的普遍可及性”的战略目标下，对公立医院高质量发展提出明确政策要求。为了提高医疗服务质量，优化患者就医体验，降低运营成本，并实现医疗资源的最大化利用，传统医院引入数字化技术手段，开始向“智慧医疗、智慧服务、智慧管理三位一体”的智慧医院转型。

虽然智慧医院比传统医院在服务便捷性、诊疗规范性、管理精细化方面有了很大进步，但仍然存在患者医疗问题不能完全满足、患者体验仍存差距、运营管理不够科学等问题。此外，新兴数字技术层出不穷，技术推动二维平面互联网逐渐走向虚拟世界与现实世界结合的“全真互联网”，很多相关的数字技术尚未充分利用，医院数据潜力还未完全释放，智慧医院的形态和功能大部分仍聚焦在线下物理空间中，线上虚拟空间中是否还存在可发掘的需求和应用尚未充分挖掘和开拓。因此当前的智慧医院建设不是医院形态及功能演进的终点，而是新的起点，未来医院将进一步向线上线下一体、虚实融合的元医院形态和功能发展。

我们对元医院建设动因进行调研，发现主要动因有两个（见图 1-图 2）：

政策驱动是元医院建设与发展的最主要动因。有 56.92% 的受访医院和 81.82% 的厂商都认为是“国家和地方政府政策要求运用元宇宙虚实融合技术赋能医院建设”。事实上，行业主管部门和地方政府对运用元宇宙相关技术赋能医院建设一直以来持鼓励态度。工信部等五部委联合发布《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023-2025）》提出推进数字孪生等技术开展临床研究，支持企业与医疗机构加强研发合作。工业和信息化部等七部门《关于推动未来产业创新发展的实施意见》提出打造标志性产品，突破元宇宙入口等具有爆发潜能的超级终端。上海市《培育“元宇宙”新赛道行动方案（2023—2025 年）》提出虚实融合医疗健康。鼓励元诊疗，建设医疗三维辅助诊疗平台，优化术前规划与术中导航解决方案；推广心理疾病“数字疗法”和沉浸式远程康复应用，赋能医学研究。

不同医院因规模和定位不同而产生的驱动力也是主要动因之一。高达 67.69% 的受访医院和 72.73% 的厂商认为“不同医院驱动因素不同。对于大型综合医院、研究型医院、教学型医院，希望元宇宙技术能对科研、教学提供帮助。对于基层医院，则希望通过元宇宙技术接入到大型医院虚拟线上空间带动自身发展”。这一数据也与实际情况吻合：部分大

型三甲医院正在升级成为研究型医学中心，除了提升临床专科群诊疗能力外，教学和科研成果转化逐渐成为重点，希望新技术能对其赋能，实现科研和教学的高质、高产、高效。而对于基层医院，则希望借助新技术补齐短板，向大型三甲医院追平看齐。

除了上述两个主要动因外，**新兴技术自发驱动也是重要推力**。有 44.62%的受访医院和 59.09%的厂商认为是“新兴技术出现后，迫切需要寻找应用场景以发挥用武之地，最大限度发掘技术价值”因此驱动元医院建设。新兴技术被创造出来后，相关技术厂商会积极主动地为技术找寻可以应用的医疗场景，将技术转化为产品，从而获得盈利。这种来自技术供给侧自发的驱动力，让技术从被动的“工具”，转变为医院主动的“合作者”，不断推动技术主动向医院内部渗透。技术与医疗场景相互作用的结果，一方面是促使技术不断成熟，演化为更契合、适应医疗环境；另一方面则推动了医院在业务模式、组织架构、整体形态等方面发生改变。

值得注意的是对患者需求的满足是否是元医院建设的重要驱动力，医院和厂商认知有所不同。医院对这一选项选择比例不高，仅有 30.77%的受访医院认为“患者未满足的医疗需求和医院未满足的精细化管理需求持续拉动”，而选择这一选项的厂商占 68.18%，与医院认知差距较大。然而由于医院直接服务患者，距离患者更近，更了解患者，因此医院

的认知可能更契合当前实际。也就是说当前元医院建设尚未建立在满足患者需求之上，还没有进入以患者为中心的需求拉动阶段。

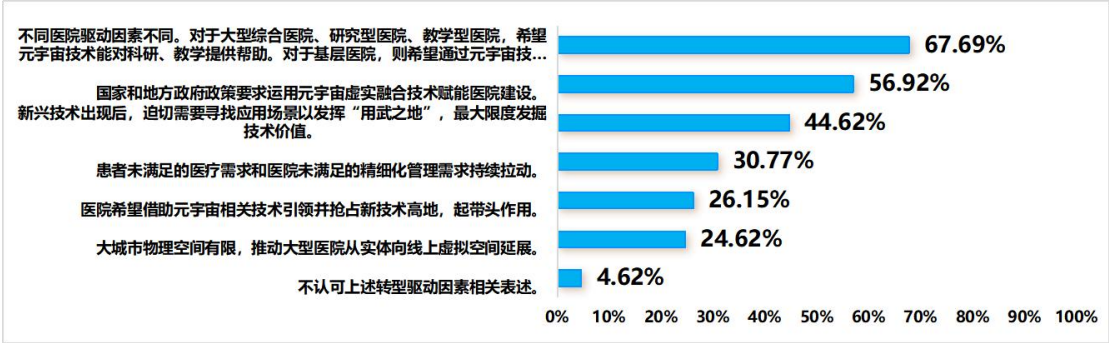


图 1 医院认为的元医院建设驱动力

资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。

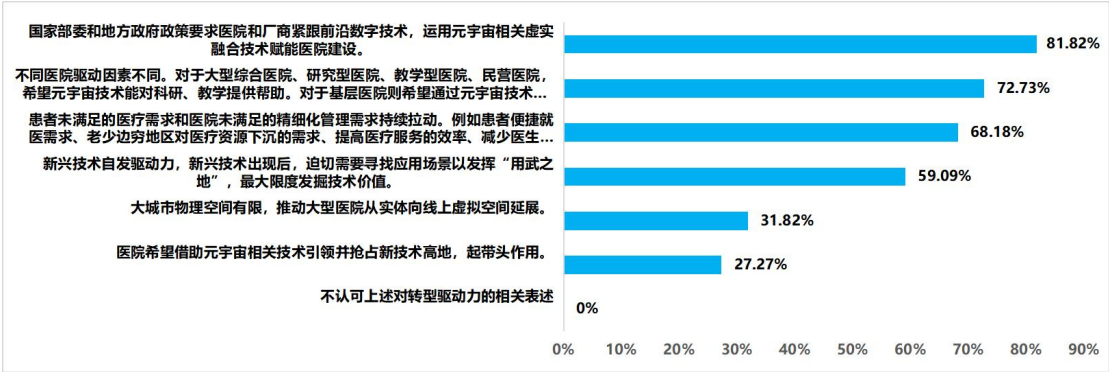


图 2 厂商认为的元医院建设驱动力

资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。

1.2 元宇宙定义与内涵

“Metaverse”一词由尼尔·斯蒂芬森在1992年首次提出，在科幻小说《雪崩》中讲述了一个身临其境的另类虚拟现实，即由互联网连接的世界已成为现实。该书于2009年翻译为中文并出版，最初将“Metaverse”译为“超元域”。随着认识不断深化，逐渐将“Meta”翻译为“元”，是“开始、根本、初始、创生”的意思，意味着在互联网连接的虚拟空间中可以创造万事万物，是万物诞生的地方。“verse”是“宇宙(universe)”的缩写，其源自拉丁语“universus”，意思是“全部在一起，整体，全部的，与所有人有关”。其中“versus”这一部分还具有“转动、转化、不断变换”的意思^[1]。意味着“宇宙”是不断变化的与所有人相关的整体。互联网空间创造的虚拟事物也是同样，可以彼此连接构成全新的世界，并且可以不断运动、转变、更新。目前“元宇宙”已取代“超元域”，成为“Metaverse”的通用译名，从构词中也反映出“元宇宙”的内涵，即“元宇宙”可以被看成是一个虚拟空间，人们以虚拟化身的形式进入，并在其中开展社会活动，而且虚拟空间中的事物是可以被创造和不断变化的。

在尼尔·斯蒂芬森提出“Metaverse”最初定义后，对“元宇宙”的定义也逐渐丰富多样。在学术界，有学者^[2]统计了截止到2023年2月所发布的262篇高质量中英文元宇宙研

究文献中对元宇宙的定义，发现元宇宙可从“个体、社会、国家、人类”四个视角定义，**个体视角**元宇宙通常被定义为一个“永续在线的、承载虚拟活动的新型数字空间、计算平台或界面。个体可借助综合感官设备以同一数字化身在其中进行各种物质或精神活动”。**社会视角**元宇宙通常被定义为一种“与现实交融的复杂系统、互联网应用或新型社会形态，其具有高度拟真的现实感，能够提供近乎真实的信息反馈、多元的生产和文化创作情境以及低延时的系统交互，对社会发展至关重要”。**国家视角**元宇宙通常被定义为“建立在数字基础设施之上新型信息技术解析升级、重构和融合后的未来形态或生态，是下一次工业革命的入口。由所有人共商、共建、共享和共治，是国家之间经济发展、形象塑造、资源分配和安全稳定等新战略布局的竞争高地”。**人类视角**的元宇宙通常被定义为“蕴含信息、数据和知识等要素的虚实相融的人类文明新形态。其具有相对稳定的内在机制和较为完善的文化、经济、政治及生态系统功能，既能为人类提供释放创造力、认识和利用自然资源的机会，也能促进人类创世观、身心观和宇宙观等的蜕变，摆脱自然宇宙限制，实现真正意义上的人类自由”。作为信息行业主管部门，我国工信部等五部委联合发布《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023-2025）》^[3]中元宇宙被定义为是“数字与物理世界融

通作用的沉浸式互联空间，是新一代信息技术集成创新和应用的未来产业，是数字经济与实体经济融合的高级形态”。

“数字与物理世界融通作用的沉浸式互联空间”可以按照承担的不同社会功能划分为很多种，例如承担社会教育功能的校园、承担社会生产制造功能的工厂等，未来都可能会在虚拟空间中被创造出来，并成为“元宇宙”中的重要组成部分，从而形成“元校园”“元工厂”等沉浸式互联空间。

“医院”是承担社会医疗健康保障的重要空间。随着医院从物理空间向虚拟空间延展，医院也逐渐走向“数字与实体融合的高级形态”。然而当前尚无对“元医院”的权威、统一定义。当前一些既有研究对“元医院”的定义不够全面，表现在：对元医院的业务范围定义不明确，只关注于元宇宙相关技术对医院医疗功能的改变，而对医院承担的教学功能、科研功能尚未得到充分重视。医院的运营管理功能也少有被纳入其中。对元医院的空间范围定义不明确，既有研究和定义只关注对“元医院”虚拟空间或线上部分的表述，没有将线上、线下结合纳入其中。对元医院构建采用的技术范围定义不明确，通常只罗列了VR、AR、AI等个别技术，很多其他技术没有包括在内，不能构建出完整的元医院。

本研究参考了文献资料里对“元宇宙”不同视角的定义、遵循国家对推广元宇宙应用的政策要求，根据医院业务范围、承担的社会功能，结合对建设元医院的技术厂商、受访医院、

受访专家的调研，本报告将“元医院”定义为“综合多种数字技术，将实体医院解构成数据，再基于数据，重新构建出能与实体医院融通的虚拟空间；用户可借助设备进入其中，开展虚实融合的医疗相关活动，实现高度拟真、时空扩展和人机融生；并将推动以医院为核心的医疗行业各主体在虚拟空间中的融合，是智慧医疗健康服务体系演进的高级形态”。元医院是一个“解构”再“重构”的过程，将实体医院解构成“数据”，再基于“数据”构建出一个全新的医院甚至整个医疗健康服务体系。

展开来说，根据本研究对医院调研，元医院和实体医院的最显著区别在于以下2个方面（图3）：40%的受访医院认为最核心的区别是“不再只有线下实体医院和平面二维互联网医院，开辟了线上三维虚拟空间医院”，医院对这一观点的选择占比远远高于其他选项。其次，26.15%的受访医院认为“不再限于真人互动，每个用户可以有数字分身，实现自然真身、虚拟分身、机器人的互动”是最主要的区别。

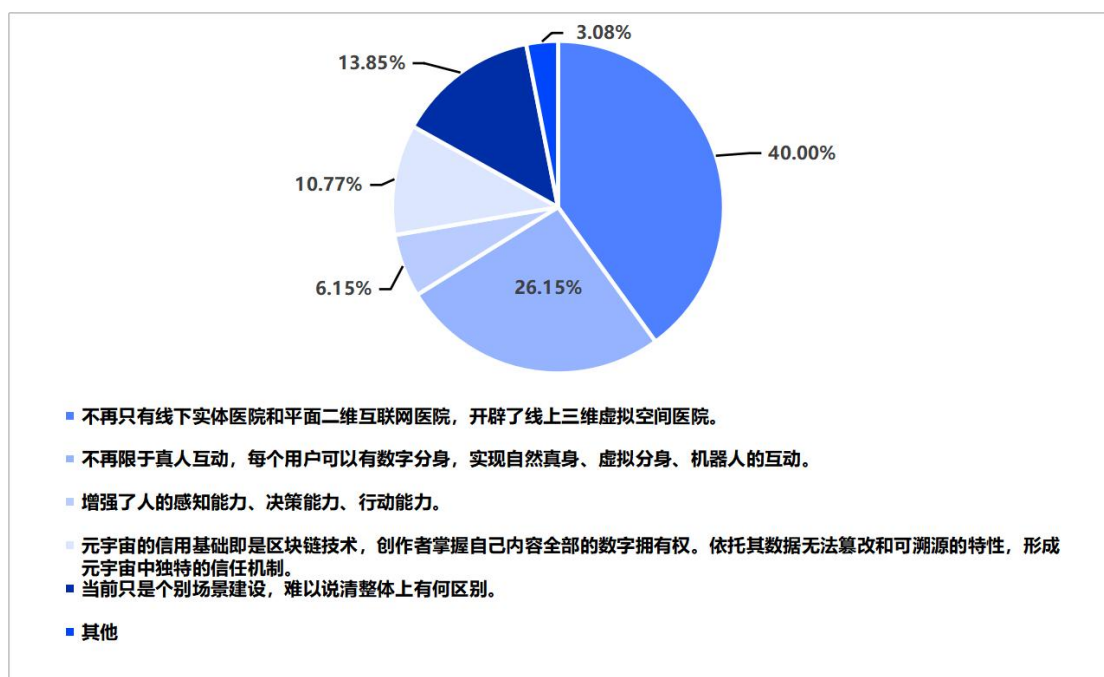


图 3 医院认为元医院和实体医院的最显著区别

资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。

1.3 元医院国内外发展现状

1.3.1 元医院国外发展现状

国外元宇宙相关技术，例如 VR、AR、人机交互等起步较早，但没有专门出台国家层面的政策予以鼓励和引导，也没有提出明确的“元医院”概念和定义；更没有任何一家大型综合性医院宣称已经完全实现了元医院全场景建设。即便如此，国外元医院仍在逐步发展。

（1）政策方面，欧美国家以规制引导发展，日韩与中东国家则直接激励。

国外对元医院建设没有出台有针对性的政策，但出台的元宇宙相关政策对医疗有所涉及。欧美和日韩出台的元宇宙相关政策导向存在导向上的差异，但都展现出渴望成为全球领导者的雄心。**欧美出台的政策偏向以监管和规制引导发展**，对元宇宙相关技术的渗透持谨慎态度，特别是防范其在数据安全及隐私侵犯上的风险，因此采取“立规矩为先”的措施。例如：美国出台《政府对人工智能数据的所有权和监督法案》，该法案反映了美国国会对基于身份识别的数字化渗透的谨慎态度，并重拳出击遏制数据滥用和隐私泄露，而元宇宙同样基于类似技术并涉及数据使用^[4]。欧盟 2023 年 8 月推出《数字服务法案》（Digital Services Act）《数字市场法案》（Digital Market Act）^[5]，为线上虚拟空间提供一套在整个欧盟范围内都能够遵循的协调一致的规则。2024 年 5 月欧

盟批准通过的《人工智能法案》成为全球首部全面的 AI 监管法规，这些举动展现了欧盟希望成为全球数字监管领导者的意图^[6]。这些监管和规制举措并非限制元宇宙相关技术和应用的发展，反而是为了在新生事物萌芽时即订立规矩，明确“什么能做、什么不能做”便于产业在实践中有所依据，加速其健康发展。日韩与中东国家出台的元宇宙相关政策更为积极，偏向直接予以鼓励与倡导。2021 年 1 月韩国政府公布《元宇宙新产业领先战略》^[7]，该战略作为“数字新政 2.0 计划”的一部分，旨在应对颠覆性创新、新兴技术。该战略指出，到 2026 年韩国在全球元宇宙市场的占有率将提升至第 5 位^[8]。2021 年 11 月韩国又提出《首尔愿景 2030》，依托元宇宙将首尔打造为未来之城，并发布《元宇宙首尔五年计划》^[9]。该计划建立名为“元宇宙首尔”的高性能元宇宙平台，将政府服务作为突破口，提供经济、教育、旅游、医疗等领域服务，并计划将元宇宙平台应用扩展到市政管理各个领域。2021 年 7 月日本经济产业省发布的《关于虚拟空间行业未来可能性与课题的调查报告》^[10]，归纳总结了日本虚拟空间行业的现状和亟须解决的问题，提出日本政府应当和业内人士共同制定 XR 设备、数字内容等方面的行业标准和指导方针，并在国内推行标准化的同时向全球市场输出，以期在全球竞争中占据主导地位。2022 年，迪拜成为中东地区第一个宣布迈向元宇宙的城市。阿联酋王储宣布推出国家元宇宙战略

“Dubai Metaverse Strategy”^[11]正式启动了迪拜元宇宙战略，旨在将迪拜打造成世界十大元宇宙经济体之一，加强迪拜作为未来科技的发源地和实验室，带动阿联酋在采用数字解决方案方面处于全球领先地位。同年迪拜虚拟资产管理局宣布成立，是世界上第一个进入虚拟世界的监管机构，以支持用户访问虚拟世界，并颁布《迪拜虚拟资产法》（Regulating Virtual Assets in the Emirate of Dubai）^[12]让迪拜走在规范数字资产的前沿。当地的医疗保健公司Thumbay Group 为打造医疗旅游产业推出阿联酋第一家元宇宙医院^[13]，场景包括虚拟化身会诊、基于 AR/VR 的患者虚拟护理等。

（2）厂商方面，国外技术厂商已在医疗细分领域形成专业壁垒。

技术厂商一部分从游戏、社交媒体、影音娱乐、办公软件的厂商跨界到医疗健康领域，这类厂商曾经主要从事“To C”类业务，因此更擅长提供并建造虚拟数字人和社交平台，实现医-患、患-患之间的交流沟通服务；提供眼镜、头显等虚拟空间接入设备，但是这类跨界而来的厂商由于其对医疗专业的积累较弱，不容易专注并进入细分领域深耕。另外一部分技术厂商则是由医疗器械厂商、制药服务商、工业模拟软件厂商通过引入元宇宙相关技术改造自身既有产品升级而来。这类厂商医疗属性和专业性更强，并且一直从事“To

B”类业务，专注于将元宇宙相关技术应用到具体细分病种领域，例如骨科、脊柱外科、眼科、消化内镜、癌症药物研发等，已经有相关产品通过行业监管部门获批上市用于临床，建立起强大的细分领域壁垒。

（3）医院方面，国外医院注重对场景的临床试验验证。

欧美地区医院对于将元宇宙相关技术用于神经、精神疾病诊疗（例如数字疗法）、患者术前教育、医生手术及各类操作、康复训练等与医疗密切相关的场景时，对临床试验的重视程度逐渐增加，已经披露开展了多个临床试验。经由 Pubmed 学术引擎搜索，近五年，欧美发达国家开展的临床试验、系统评价等循证医学研究文献 30 余篇。这些元宇宙相关技术用于医疗的循证医学研究涉及疼痛管理、护理、肾病、骨科、康复、眼科、肿瘤、心理健康等十余个专科领域，反映出国外医院对元宇宙相关技术和产品用于临床时，趋向于实证研究和找寻循证医学证据的严谨态度。

（4）监管方面，国外监管部门主动应用虚实融合技术，从而推动产业主体积极性。

国外特别是美国的药品和器械监管部门，主动探索应用虚实融合技术提升监管效能，以自身拥抱新技术推动产业主体使用新技术的积极性。美国 FDA 是首个将元宇宙虚实融合相关技术用于审批的机构。早在 2018 年，FDA 就公布了政策路线图（FDA’ s 2018 Strategic Policy Roadmap），其中

多项工作与计算机建模和仿真方法相关。FDA 为此建立“计算机建模和仿真研究工作组”，该工作组为跨部门的组织方式，近两百名专家参与其中，人员分布在药物评价研究中心（CDER）、器械和放射产品健康中心（CDRH）等 7 个中心。工作组有 5 项主要任务：提升计算机模拟和仿真方法的认识，推动监管科学的发展；加强各方对该方法的交流；作为 FDA 在该领域及其他新兴领域的科学支撑；与开展同样工作的国内和国际组织进行合作；促进该方法的审评一致性及相应的决策支持。其核心目标之一是探索通过在虚拟空间中模拟试验环境、模拟人体器官从而为医疗器械、药品提供检测及验证条件，减少线下试验和测试评审带来的成本和医疗风险。

1.3.2 元医院国内发展现状

当前国内大部分公立医院都在积极推动落实国家卫健委基于电子病历的智慧医疗、智慧服务、智慧管理“三位一体”智慧医院建设，线下物理实体医院处于从数字化到智慧化建设的过渡阶段。对“线上线下一体、虚实结合”的元医院建设尚处于“政策开始发力，场景逐渐浮现，局部先行试水”的早期探索阶段。

（1）政策方面，央地两级政策对元宇宙相关技术积极推广。

大部分将诊疗和大健康服务作为医疗领域的重点应用。部分发达地区省市开展先行先试的探索。2022 年以来，国家

和地方层面元宇宙相关政策的产业扶持政策和项目不断落地，为元宇宙相关产业未来发展奠定了坚实基础，营造了良好环境。**国家层面**，工信部等五部门出台了《**元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023-2025 年）**》^[14]，设立了“到 2025 年，元宇宙技术、产业、应用、治理等取得突破，产业技术基础支撑能力进一步夯实，综合实力达到世界先进水平，元宇宙典型软硬件产品实现规模应用，在生活消费和公共服务等领域形成一批新业务、新模式、新业态”的战略目标。同时，倡导积极稳妥推进数字孪生等技术开展临床研究，支持元宇宙企业与医疗机构加强研发合作。2024 年，工业和信息化部等七部门出台《**关于推动未来产业创新发展的实施意见**》^[15]将“元宇宙”定义为具有爆发潜能的超级终端和重要入口，要求前瞻性布局元宇宙的标准研究。同时要求前瞻性部署“未来健康”等六大新赛道，鼓励推动“5G/6G、元宇宙、人工智能等技术赋能新型医疗服务，研发融合数字孪生、脑机交互等先进技术的高端医疗装备和健康用品”。

地方政府层面，例如北京、上海、浙江、四川、山东、重庆、郑州等地积极响应国家号召，纷纷出台了对当地元宇宙产业发展扶持政策。截至目前，已有近 40 余省市相继发布元宇宙建设规划。大部分政策中都将医疗健康作为元宇宙相关技术重点应用场景之一。对元宇宙相关技术与医疗健康结合场景提及较多，比较有代表性的有：**北京市**出台《北

京城市副中心元宇宙创新发展行动计划（2022-2024 年）》^[16]，明确提出推进数字人医疗等领域的典范应用。利用显示、触感、力反馈等设备，推动混合现实、医学仿真等技术产品，在远程医疗、医学教育等沉浸虚拟场景方面应用。上海市出台《上海市培育“元宇宙”新赛道行动方案（2022—2025 年）》^[17]设置“虚实融合医疗健康”赛道，明确“鼓励元诊疗，建设医疗三维辅助诊疗平台，优化术前规划与术中导航等解决方案；推广基于扩展现实的心理疾病数字疗法和沉浸式远程康复应用。赋能医学研究，支持运用增强现实、虚拟现实等技术在视觉诊疗、近视防治等领域开展临床研究；鼓励结合微观三维成像、分子模拟等技术，在新药研制、病理研究等领域实现突破”，旨在遴选出一批面向未来、可复制可推广的元医院标杆应用场景。浙江省在 2023 年就出台了《浙江省元宇宙产业发展 2023 年工作要点》^[18]明确提出探索“元医疗”场景应用，包括加快建设药物开发试验、手术预演、心理/精神疾病治疗、远程医疗问诊、医学影像等领域的“元”医疗场景，围绕临床诊治、康复护理、体育运动等领域探索构建全生命周期健康管理模型。山东省《关于印发山东省医养健康产业发展规划（2023-2027 年）的通知》^[19]明确提出要开辟元宇宙健康新赛道。探索“元医疗”场景应用，鼓励元诊疗、“数字疗法”和沉浸式远程康复应用，支持运用增强现实、虚拟现实等技术在视觉诊疗、近视防治

等领域开展临床研究，构建全生命周期健康管理模型，打造线上线下相结合的数字化、智能化、沉浸化的临床诊治、康复护理、体育运动解决方案。

（2）厂商方面，互联网企业主动跨界但专业深度有待提高。

国内尚未形成大规模专门从事医疗元宇宙技术开发和产品供给的厂商。经厂商调研发现，45.45%的厂商在该领域积累 5-8 年，与提供传统信息化厂商相比从业年限普遍较短。大多数厂商都是互联网企业在“多领域、多元化”发展后把医疗作为其中一个潜在发展领域，专注医疗的程度、耕耘的深度、技术积累的厚度略显不足。国内厂商提供的产品往往是眼镜、头显等虚拟空间接入设备、数字人构建、社交服务、医院建筑虚拟空间映射（例如 BIM 和数字孪生）等。也有部分厂商可提供虚实融合的医学培训。专门为医疗诊断、干预核心环节提供虚实融合技术、产品和服务的厂商聚焦于三维辅助诊疗、术前规划与术中导航业务。然而较少有厂商能进一步深入某一专科、亚专科领域提供相关技术、产品和服务，因此厂商的医疗属性及在医疗专病专科领域仍有待提高。

（3）医院方面，虚拟会诊等场景作为二维互联网医院的延伸已有落地案例但缺少临床评价。

我们对医院已经建设的元医院场景进行调研，结果发现（图 4）：13.85%的受访医院已经在做“远程咨询和虚拟会诊”场景，是目前已经落地相对最多的场景。其次是“疾病

筛查和辅助诊断”场景，有 12.31%的受访医院已经将其建设落地。排名第三的是“VR 远程探视”场景，有 10.77%的受访医院已经建设落地。**观察数据反映出：**（1）真正已经启动元医院场景建设的医院占比还是少数（占 10%左右），侧面反映出元医院在国内处于初级阶段。（2）远程咨询、虚拟会诊、VR 远程探索等视觉类的元医院场景相对带有力反馈触觉模拟的场景更早落地。（3）上述已落地的场景可以看作是二维互联网医院的延伸，也是迈向三维立体全真互联网的开端。

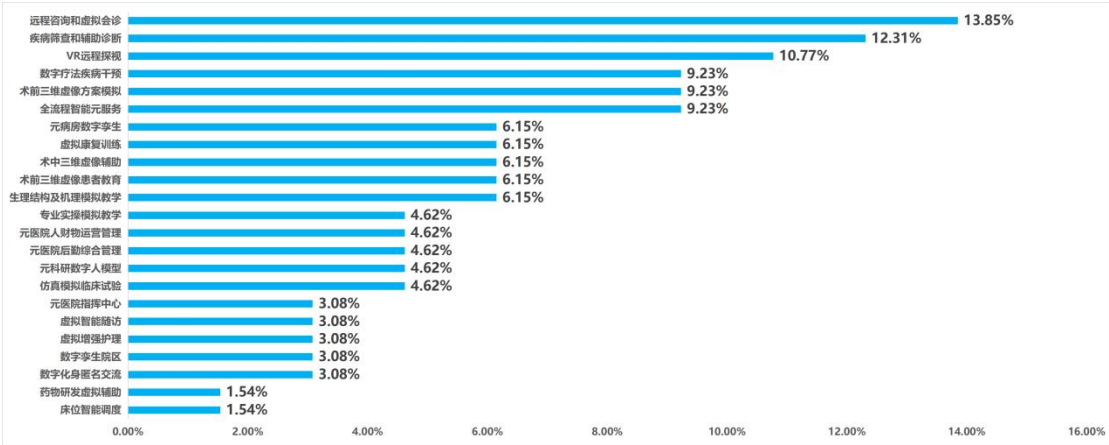


图 4 医院已经建设的元医院场景

资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。

我们对医院将要规划建设的元医院场景进行调研，结果发现（图 5）：46.15%的受访医院将要建设“疾病筛查和辅助诊断”场景；44.62%的受访医院把“虚拟智能随访”“术前三维虚像方案模拟”“床位智能调度”作为后继将要建设的场景；43.08%的受访医院选择了“术中三维虚像辅助”；41.51%的受访医院选择了“远程咨询和虚拟会诊”“术前三

维虚像患者教育”场景作为未来建设的方向。其余选项选择的医院均没有超过 40%。值得注意的是，上述场景大部分为医疗相关场景，科教研、运营管理类场景的选择大多不足 40%。**观察数据反映出：**（1）由于处于元医院早期阶段，医院将要建设的场景大部分可以看做是二维平面互联网医院对咨询、会诊、随访、患教功能向三维立体空间的延伸。（2）医疗场景的建设相对于科教研和运营管理类场景而言，医院建设的意向更为强烈。

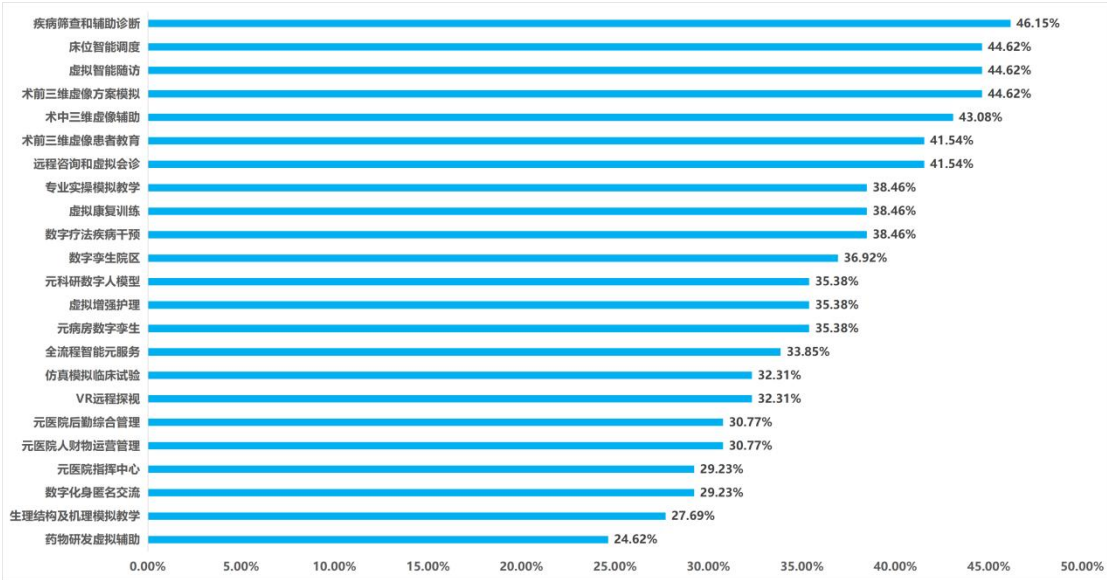


图 5 医院规划将要建设的元医院场景

资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。

国内三甲医院正在探索元医院场景建设，但是对元宇宙相关技术的临床实证研究和效果评价较为缺乏。临床评价是对产品产生的临床数据的分析评价，通过文献分析发现，只有个别医院开展了对 VR、AR 等虚实融合技术场景的临床试验。例如：对五行 VR 技术治疗慢性失眠肝郁证患者临床观察^[20]、基于 VR/AR 技术的鼻内镜下泪囊鼻腔吻合手术虚拟培

训系统的临床应用效果分析^[21]、虚拟现实 VR 技术治疗失眠症的临床研究^[22]等。通过临床试验将使用新技术和传统常规治疗在效果、成本进行了比对。目前整体上披露的临床试验数量较少、涉及的人群规模较小，意味着使用元宇宙相关技术对临床疗效和安全缺乏严格的试验评价。

（4）监管方面，监管部门鼓励创新与安全谨慎并重。

监管部门对使用元宇宙相关技术的产品审批加快，特别是体现在各类手术导航产品的审批上，截至 2024 年 12 月，官网披露大约有 113 家产品获批。此外，国内还批准了除手术导航产品外的基于虚实融合技术对疾病开展干预的医疗器械，包括：儿童注意力缺陷与多动障碍虚拟现实康复训练软件、虚拟现实弱视眼训练软件、基于虚拟现实技术精神疾病辅助评估软件、VR 认知评估及训练软件等产品^[23]。同时我国积极引进国外虚拟现实影像及手术方案预设等系统。但是目前出于保障医疗产品用于诊疗服务安全的角度考虑，尚未批准用于在虚拟临床环境或虚拟三维器官上开展临床试验，研发、测试、验证器械和药品的相关产品。

通过对当前政策引导、产业供需双方现状来看，对建设完整的元医院的专项政策尚未出台，大部分政策中提到的应用场景较为零散，且“点到为止”，大部分倡导将元宇宙相关技术运用到围绕患者的诊疗改善和大健康管理服务场景上，而对将技术用于医院后勤及运营管理的提法较少。围绕

医疗、患者服务、运营管理的元医院宏观场景蓝图和实施路线图未成型。为元医院提供相关产品和技术的厂商尚不成熟，没有头部企业产生。

1.3.3 国内外元医院发展现状对比与总结

通过对国内外元医院发展现状的研究，可发现国内外的相同和差异。相同之处在于，国内外元医院建设都处于起步探索阶段。国内外都没有对元医院的概念、定义有统一、权威、公认的界定。都没有任何一家医院宣称完成元医院全部场景建设，都处于以诊疗为主的应用场景散点试水状态，都没有明确的元医院全场景蓝图和实施路线图。由于国内外元医院尚在单个应用场景探索阶段，因此都还没有提出成熟的元医院运营管理模式和运营管理组织。国内外都有一批来自社交媒体、游戏、影音娱乐等非医疗领域的技术厂商跨界而来，探索元医院落地。

国内外元医院发展差异表现为四个方面，一是国外，特别是欧美发达国家较少出台政策直接旗帜鲜明地激励元医院建设，而是以规制引导发展。对元宇宙相关技术可能带来的数据和隐私安全尤为重视，因此采取“立规为先”的做法引导新生事物发展。国内则是政策直接鼓励，以倡导激励发展。首先由一系列央地政策和顶层规划设计举旗定调，然后通过试点示范等手段举措鼓励技术厂商积极参与，和医院联

合加速落地实践。**二是**国内外供给侧技术厂商在医疗属性、专业性、专注性上存在差异。国外部分厂商已经开始进入专病专科领域做更专业的细分赛道技术积累，专病专科领域与元宇宙相关技术结合的壁垒正在构建。国内具备医疗专业性、进入某一专病专科领域深耕，并已经能提供专业医疗产品的元宇宙相关技术厂商较少，大部分仍停留在互联网、社交领域，整体对严肃医疗涉入较浅。**三是**国外注重应用场景的临床验证，而国内注重场景建设。国外已经通过临床试验，比较使用虚实融合技术的应用与传统的、不涉及虚实融合技术的应用对患者的临床效果、安全性，比对验证孰优孰劣。而国内更关注前沿技术有什么和应用场景建什么、如何建设，对通过临床试验进行对比验证则较少涉及。**四是**国外（主要是美国）行业监管部门对元宇宙相关技术虽然谨慎但仍采取先行先试的积极态度，接受虚拟临床试验作为药械注册审批的证据，并出台指南予以指导。国内行业主管部门则从安全角度出发，当前暂无提出会主动试用，可能未来会采取稳妥方式逐步跟进。

二、元医院技术体系与产业生态

2.1 元医院技术架构

元医院的整体架构按照从物理空间到虚拟空间逐层划分为八个部分（见图 6）：基础设施层、数据汇聚层、知识抽取层、虚拟构建层、用户接入层、应用场景层、智能决策层，以及安全保障层。各层的定位和功能介绍如下：

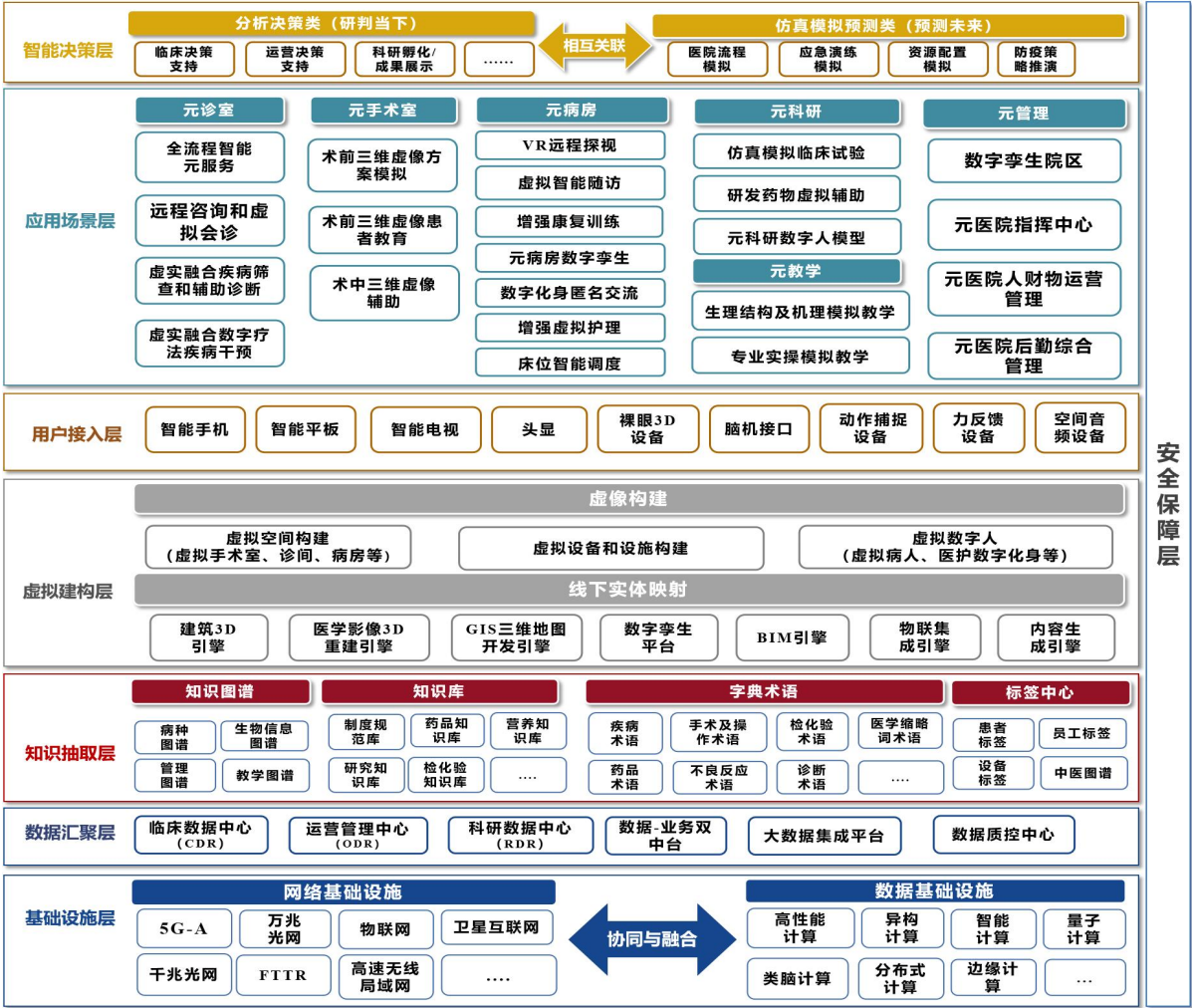


图 6 元医院技术架构

2.1.1 基础设施层

“基础设施层”是构建整个元医院的“地基”，是信息传输、存储和计算的物理基础。主要包括网络基础设施、数据基础设施。一类是**网络基础设施**：例如 5G-A、千兆光网、万兆光网、FTTR（全称 Fiber to The Room）、物联网、高速无线局域网、卫星互联网、云网融合等。另一类是**数据基础设施**：包括高性能计算、异构计算、智能计算、量子计算、类脑计算等构建的异构算力体系，满足不同对数据量和浮点运算速度的存算要求，并朝向绿色低碳发展。

2.1.2 数据汇聚层

“数据汇聚层”是元医院的“资源池”，该层保障了数据用于接下来的知识抽取、虚拟构建等上层调用时的质量。**主要包括**：临床数据中心（CDR）、运营管理中心（ODR）、科研数据中心（RDR）、数据质控中心、大数据集成平台、数据-业务双中台等。目的是对医疗文书、影像、检化验报告、可穿戴/床旁物联设备等多模态医疗数据，实现从采集、清洗、结构化存储的全周期治理流程。

2.1.3 知识抽取层

“知识抽取层”是整个元医院的“知识库”，该层对于提高信息检索效率、支持智能决策等方面具有重要意义。通

过精确地抽取和组织信息，可以提升数据的可用性和价值。主要包括：各类知识图谱（例如：临床信息图谱、医学影像图谱、教学图谱、生物信息图谱等）、知识库、字典以及标签中心（存储人工打上的标签）等。该层的目的是在数据融汇基础上，从临床医疗、科学研究、运营管理、患者服务等各领域数据源中提取出有价值的信息，包括但不限于实体、关系、属性和事件等，并将其转化为结构化存储形式的过程。

2.1.4 虚拟构建层

“虚拟构建层”是整个元医院的“核心”，是后继用户进入元医院内部开展活动的空间场所。该层主要是实现虚拟的人、物、空间的生成。该层主要包括：线下实体映射层、虚像构建层两个组成部分。“**线下实体映射层**”主要提供向虚拟空间映射的工具，包括：GIS、数字孪生、BIM等，实现将线下物理空间原封不动地映射到线上。“**虚像构建层**”是在虚拟空间中创造物理空间中原本没有的、不存在的元素，是对线下物理空间线上映射内容的添加、丰富和拓展；包括构建出新的虚拟空间、虚拟数字人、虚拟设备设施、虚拟智能体。

2.1.5 用户接入层

“用户接入层”是用户进入元医院的“通道入口”，包

括智能手机、智能平板、智能电视、头显设备、脑机接口、裸眼 3D 设备、动作捕捉设备、力反馈设备、空间音频设备等可穿戴感觉交互设备。该层存在的目的是让用户便捷、安全、随时随地地进入元医院构建的线上虚拟空间。通过用户接入层设备，用户可以看到在虚拟空间中制造的“虚像”、“触摸”到虚拟物品、“听到”虚拟声效。

2.1.6 应用场景层

“应用场景层”是元医院的“服务中心”，当前主要包括：元诊室、元手术室、元病房、元科研、元教学、元管理六大类 23 个场景。该层是在已经搭建完毕的虚拟空间中建立各类虚实结合的应用场景。医院职工和患者可通过手机、电脑、眼镜、头显等接入设备，登录进入虚拟空间，开展各类业务活动，并在里面彼此间沟通交流，还可以通过交互设备与虚拟物品资产互动（例如移动、持握、抓取等）。该层的应用场景将随着元医院的发展不断丰富。

2.1.7 智能决策层

“智能决策层”是元医院的“大脑”，该层通过人工智能可实现从“辅助于人”到“启智于人”的飞跃，让管理者借助“机器外脑”既能准确研判当前现状，又能预测和应对未来的变数。主要包括：面向当下的分析决策类、面向未来的

仿真模拟预测类两大部分。该层是将元医院技术与人工智能、大模型等结合，一方面可根据采集到的线下实体物理院区数据、线上虚拟院区数据进行自动化分析、生成决策建议供管理者参考；另一方面可以根据管理者给出的条件和参数，对可能发生的场景开展模拟仿真，生成预案让管理者做好应对，让管理更有预见性。

2.1.8 安全保障层

“安全保障层”是元医院的“屏障”，主要包括：各类网络安全、数据安全、隐私保护、态势感知等方面的技术和工具。该层提供对元医院基础设施层、数据汇聚层、知识抽取层、虚拟构建层、用户接入层、应用场景层、智能决策层的全方位保护，从而实现对整个虚拟空间本身、虚拟空间中出现的内容（例如：虚拟物品资产、数字人）的保护，以及用户身份及隐私安全的保护。

2.2 元医院关键技术与代表企业

元医院关键技术按照架构图中对应的层级分为：基础设施层技术、数据汇聚层技术、知识抽取层技术、虚拟构建层技术、用户接入层技术、应用场景层技术、智能决策层技术、安全保障层技术。有研究认为构建元宇宙虚实融合空间的相关技术有 776 种^[24]之多，本报告结合工信部《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023—2025 年）》和《上海市“元宇宙”关键技术攻关行动方案（2023—2025 年）》等元宇宙技术与产业发展相关政策要求，旨在对构建及运营元医院的关键技术逐一介绍。同时，本报告将技术架构每一层的技术划分为“网络类、计算类、模拟仿真类、传感类、显示类、数据类、安全保障类”等几个大类，每个大类用英文首字母缩写表述，并对每个具体技术赋予一个子类编号。针对每种技术展示若干家国内外有代表性的厂商。**厂商遴选的标准包括：**拥有虚实融合典型技术、拥有医疗虚实融合产品、已有公开披露的医院落地案例等。**厂商信息获取渠道包括：**问卷调研、厂商官网、文献资料、各地元宇宙大赛披露的入围厂商等。

表 1 元医院关键技术与代表企业列表

技术架构图	技术大类	大类编号	具体技术及编号	技术特点	主要/侧重用途	代表技术厂商
基础设施层	网络类	N (Net)	N1-无线局域网	不再使用通信电缆将计算机与网络连接起来，而是通过无线的方式连接，使网络构建和终端接入更灵活、易于扩展。	用于区域范围内信息互联	国内厂商： 中国电信、中国移动、中国联通、华为。
			N2-物联网	让设备-设备间直接的信息传输成为可能。	用于医院设备、物资理、人员定位等。	
			N3-5G-A	能实现无线传输；比 5G 更高的网络上下行速度；更低的延迟；支持千亿级设备连接，且能支持无源（没有电池供电）连接；厘米级定位精度；与 AI 结合的智能网络能根据数据传输需求自动调配资源，提高资源利用率和服务质量。	用于医疗音视频海量数据低延迟传输；医疗机器人、可穿戴设备、力反馈设备移动过程中高精度定位和广泛的连接。	
			N4-千兆光网/万兆光网	有线传输；高速传输；数据量大；抗干扰性强，信号稳定；传输损耗小可进行远距离传输。	用于手术操作等需要信息传输的场景。	
			N5-卫星互联网	星地结合，可以覆盖地面网络无法到达的区域包括偏远地区和海洋；精度的时间同步；亚米级甚至厘米级定位。	用于远程医疗、导航和授时等时空综合服务。	
	计算类	C (Compute)	C1-边缘计算	数据分析和处理在用户侧本地设备进行，减少数据对外的传输需求、降低了功耗、提高反馈效率、提高数据安全。	可以使数据不出院，用于隐私和安全性高的医疗数据，例如床旁监护设备、院内影像数据等处理场景。	国内厂商： 中国电信、中国移动、中国联通、华为、万国数据、世

技术架构图	技术大类	大类编号	具体技术及编号	技术特点	主要/侧重用途	代表技术厂商
			C2-云计算	灵活性强，可以提供多种计算和存储资源，满足不同用户在不同场景下的需求。可用性高，能够达到几乎不间断的服务。可扩展性好，随着业务需求的增长，云计算平台可以轻松扩展存储和计算资源。	为元医院线上业务提供存储和算力。	纪互联、秦淮数据、华为、纳里健康、阿里云 国外厂商： 亚马逊、微软、戴尔、ClearBlade、思科、谷歌、IBM、英特尔、微软、三星、SAP
			C3-异构计算	结合 CPU、GPU、FPGA 等多种处理器的联合计算方式，能将计算任务分配给最适合处理该任务的处理器，从而提升性能降低成本。	用于对数值、图片、文字、音视频等多模态医疗数据进行计算。	
			C4-高性能计算	侧重于通过高速处理器、大容量内存的整合，提供单点或集群的极高计算能力	用于需要极大计算能力的场景，例如生物信息学研究。	
			C5-智能计算	AI 与计算的结合，能够根据计算任务需求，自动匹配足够的计算能力，自动选择调用合适的算法	用于需要建模、预测多种算法综合使用的复杂计算场景。	
			C6-类脑计算	不同于传统计算机存算分离特性，利用仿生的脉冲神经元来实现信息的高效处理，具有存算一体的技术特点，从而具有计算低功耗和低延迟的优势。	用于医疗数据分析和临床决策、危急值预警告警。	
数据汇聚层	数据类	D (Data)	D1-ETL 技术	能实现与各种数据源集成，将数据从不同的源头抽取出来，统一进行格式转换。	用于数据汇聚、分析、挖掘前的标准化处理环节。	国内厂商： 腾讯、阿里、东软、

技术架构图	技术大类	大类编号	具体技术及编号	技术特点	主要/侧重用途	代表技术厂商
			D2-动态数据捕捉技术（CDC）	对源数据库影响小。只从日志中读取有变更的数据，避免了查询整个数据库，减少对生产环境影响。	用于医疗数据的快速同步和备份。	东华、卫宁健康 国外厂商： Oracle、
			D3-系统日志采集技术	简化各类日志格式的标准化处理过程，从而减少了日志采集和分析复杂度。	用于用于医院网络信息安全、医疗设备使用情况分析等。	Informatica、 Talend、Xplenty
知识抽取层	知识抽取类	K (knowledge)	K1-知识图谱技术	能记录和展示多种关系，展示形式更为直观、能快速发现隐藏的联系。	用于临床、科研、管理等方面的推理、联想、决策研判。	国内厂商： 惠每科技、左手医生、医渡云、云知声、望石智慧、卫和医学 国外厂商： IBM、Neo4j、AWS、Stardog、Franz Inc
虚拟构建层	模拟仿真类	E (Emulation)	E1-数字孪生技术	能对本体实现完整映射； 能与本体互动，根据需要对模型本身扩展和调整，以适应不断变化本体情况。	用于对人体（患者局部病灶、器官、整个躯体）、院区空间的数字映射。	国内厂商： 上海域元科技、科大讯飞、百度、上海漂视网络、上海维享时空科技、深圳优立时空科技、南京灵境引擎科技、方糖星球、缙钺医疗科技有限公司、商汤科技、触
			E2-3D 建模技术	将实体物品模型化，并可在其上二次创造； 支持实时预览和互动操作，能够立即看到设计的效果并进行调整。	用于物品的数字模拟，可以精确地控制对象的尺寸、形状和位置，确保设计的准确性。	
			E3-实时化仿真技术	高度精确地模拟现实场景运行情况，能够在无需实际物理设备的情况下进行各种实验和测试，提高研究效率和安全性。	用于模拟不同条件下的临床医疗场景、管理场景，实现预判。	

技术架构图	技术大类	大类编号	具体技术及编号	技术特点	主要/侧重用途	代表技术厂商
			E4-物理精准仿真技术	能模拟多种物理定律。能模拟在受力、磁、光、声等信号的刺激下物体能作出的反应。	用于模拟虚拟空间中的物体、数字人在受到外界因素作用后的性状改变。	幻科技、虎江科技、佳珥医学、境腾科技 空岛科技 SpaceMax、蓝软宇影、立方幻境、拾衷科技 虚之实科技、域圆科技、直觉睿视。 国外厂商： Dassault Systèmes（法国达索系统公司）、Unity、英伟达、EpicGames、罗布乐思（Roblox）、ZEPETO、美国Autodesk Maya 软件、丹麦Unity Technologies ApS 公司、apoQlar 公司
			E5-云化建模仿真技术	多端建模，支持多个用户同时通过不同的终端进行建模操作。 模型资源共享：用户可以远程访问、下载和上传模型，便于资源的分享。	用于多方共同构建虚拟空间及空间中的内容。	
			E6-数据驱动混合建模技术	能将物理模型与数据驱动模型结合，既能模拟物品收到物理定律作用的影响、也能通过数据挖掘分析隐藏规律和模式	用于模拟虚拟空间中的物体、数字人在受到外界因素作用后的性状改变，并对其在不同条件下的行为和状态进行预判和预测。	
			E7-BIM 技术	能够展示建筑的三维形态，还能描绘出建筑物的内部复杂构造；能将建筑、结构、给排水、电气、机械等专业整合在一个模型展示；通过调整参数，可以重构整个建筑模型；允许进行建筑物性能分析仿真，如能耗分析、光照分析等。	用于医院能耗分析、内部环境分析、模拟应急场景、基建和大修项目管理等。	
			E8-GIS 技术	将复杂数据转化为直观的地图提供给用户进行探索和分析； 空间分析能力是其核心功能之一，帮助理解地理现象和过程。	用于院内定位、导航、跟踪追溯等场景。	

技术架构图	技术大类	大类编号	具体技术及编号	技术特点	主要/侧重用途	代表技术厂商
			E9-全景摄像技术	高效地将多张图片无缝拼接成完整的全景图，从而提供 360 度的全方位图像。具有交互性，支持用户通过特定操作调整视角和观察方向。	用于培训示教、院内导航等需要 360 度观看环境图像的场景。	
用户接入层	传感类	S (Sensor)	S1-传感技术	可感知信号种类多：包括力度、温湿度、速度、角度等；敏感性强；具有一定智能：不仅能感知信息，还能通过内置的计算能力进行初步的数据处理，自动做出初级决策。	广泛用于患者床旁监护、设备管理、外周环境监控、动作和体态的捕捉等。	国内厂商： 清雷科技、三诺生物传感股份有限公司、苏州纳芯微电子股份有限公司迈烁科技、飞智科技、空岛科技、武汉灵智妙境、华脑技术、脑陆科技、强脑科技、华南脑控、脑虎科技、零唯一思、TECNO、灵境影音、耀宇视芯、北京七鑫易维信息技术有限公司、亿道信息 国外厂商： 欧姆龙集团、TE Connectivity、OmniVision Technologies、
			S2-力反馈技术	能够反馈感受到碰撞、震动、重量等效果；操作准确性强。	用于手术等实操类培训、模拟科研实验等场景。	
			S3-动作捕捉技术	能够为虚拟角色提供自然流畅的动作反应，提高了真实性和沉浸感。	用于数字人的构建。	
			S4-手势与眼动追踪技术	兼具对细节动作捕捉的高精度和佩戴的舒适性，并具有交互功能。	用于手术操作、实操类培训教学、疲劳程度识别。	
			S5-脑机接口技术	直接读取大脑信号并将其转换成操纵外界物品的电信号，替代、增强、改善中枢神经系统的输出。	用于失去肢体运动能力或语言能力的人，提供全新沟通方式开展交流、控制假肢、操作计算机或其他设备等，提高生活质量。	
			S6-空间音频技术	按照听者的不同方位模拟音源，增强听觉的沉浸感和真实感。	用于虚拟空间中实时互动场景，提供有关外界环境和物体状态的声音。	

技术架构图	技术大类	大类编号	具体技术及编号	技术特点	主要/侧重用途	代表技术厂商
						Immersion、微软、Haption、IntelliHaptic、Blackrock Neurotech、Synchron、Neuralink、Kernel、Emotiv Systems Inc. 杜比实验室、森海塞尔 (Sennheiser)、索尼 (Sony)、Leap Motion、谷歌公司、苹果公司
	显示类	V (Vison)	V1-全息影像技术	能够捕捉并重现物体发出的所有光，形成具有立体感影像。从不同角度都能获得正确的视觉信息全息影像可放大或缩小，但局部细节依旧清晰；不能与影像互动。	用于教学演示观摩场景，不提供直接操作。	国内厂商： 字节跳动、TCL 科技、阿里、华为、中国电信旗下公司新国脉、上海立显科技有限公司、华弘智谷、气味王国、鸿图盛世科技、摩科智能、火山互动、解决了医生手眼协调问
			V2-裸眼 3D 技术	不需要眼镜等辅助设备获得具有空间感的立体视觉体验。	用于手术引导。医生直接看着手术区域进行操作，被外部皮肤、骨骼遮挡的内部器官、病灶一目了然，	

技术架构图	技术大类	大类编号	具体技术及编号	技术特点	主要/侧重用途	代表技术厂商
					题。	份有限公司、深圳臻像科技有限公司、京东方科技集团、上海今海医疗科技有限公司
			V3-VR 技术	所有感官体验都来自虚拟空间，与现实世界没有交互。	用于远程多方协作医疗、立体导航、病房内探视、培训示教等。	国外厂商： 苹果、索尼、苹果、三星、微软、
			V4-AR 技术	用户能够看到并与现实世界中的物理对象交互，同时也能与叠加的虚拟影像进行交互	用于手术操作引导、培训示教等。	MagicLeap、德州仪器、高通、
			V5-MR 技术	用户能同时观察和互动虚拟对象和现实对象。 允许虚拟对象反向与现实对象交互，并对现实对象施加影响。	用于设备设施管理、可视化界面操作，例如通过操纵虚拟影像，影响现实世界的设备、操作电脑界面。	Facebook、飞利浦医疗、西门子医疗、通用电气医疗
应用场景层	内容创造类	M (Material Creation)	M6-实时渲染技术	短时间内生成细节清晰、颜色丰富的高质量图像	用于内容生成，例如数字人的构建、虚拟空间的生成。	国内厂商： 中科创达、联影智能、京东方、拟仁智能、画戟科技、
			M7-动画解算技术	能对物体运动规律的模拟，生成逼真的动画效果。能够自动生成复杂的动画，降低人工制作的难度和成本。可以根据需求调整动画的参数，实现对动画效果的精确控制。	用于对数字人动态、面部表情的精细模拟和刻画。	优链时代、触幻科技、虎江科技、佳珥医学、境腾科技、空岛科技
			M8-智能编码技术	低失真性：在保证压缩效果的同时，降低数据的损失，较少影响完整性和清晰度。	用于视频压缩、音频压缩、图像压缩等。	SpaceMax、蓝软宇影、立方幻境、拾衷科技、虚之实科

技术架构图	技术大类	大类编号	具体技术及编号	技术特点	主要/侧重用途	代表技术厂商
			M9-智能审核技术	审核高效：短时间内能过滤实现对大量内容。准确性高：提高审核的准确性，降低误判率。扩展性强：可根据不同场景灵活调整审核规则。	对虚拟空间中创造的内容进行审核，作为发布前的环节。	技、域圆科技、直觉睿视、五一视界、光辉城市、叠境数字科技、粒界科技 国外厂商： Unity、OTOY、Maxon、Chaos Group、Siemens Healthineers、英伟达
智能决策层	智能决策类	I (Intelligent Decision)	I1-深度学习技术	能够自动捕捉提取数据特征，从实现发掘内在关系和隐藏规律。	用于辅助临床医疗决策，例如通过医疗文书判断有无疾病、病灶发现和定位，但不生成后继治疗方案。	国内厂商： 科大讯飞、百度、腾讯、华为、深睿医疗、商汤科技、医联、卫宁健康、东软、叮当健康 国外厂商： GE、谷歌、微软、英伟达
			I2-大模型技术	强理解能力、强生成能力、强交互能力。	用于辅助临床医疗决策，既能判断有无疾病，又能生成后继治疗方案；还能用于医疗文书质控、患者问答咨询等。	

技术架构图	技术大类	大类编号	具体技术及编号	技术特点	主要/侧重用途	代表技术厂商
			I3-群体智能优化仿真技术	通过模拟集体智慧寻找最优解，个体独立分布式计算，同时与其他个体互通结果，协作寻找最优解算法能够适应环境变化，并在没有中央控制的情况下自发将决策结果组织为行为。	适合对满足多个目标的复杂问题进行决策。例如对身患多种疾病患者提出诊疗方案。	
安全保障层	安全保障类	P (protection)	P1-零信任技术	持续验证、动态授权、全局防御。	用于保障元医院空间的基础安全，对进入并里面开展活动的人和物进行持续验证和授权。	国内厂商： 知道创宇、杭州帕拉迪、360、奇安信、山石网科、启明星辰、杭州灵伴科技、亚信科技 国外厂商： Ancilia、Holiverse、CertiK、Chainalysis
			P2-区块链技术	无法篡改，每个区块包含了当前记录和前一个区块哈希值，修改任一区块数据都会破坏整个链的连续性。去中心化，数据由网络中的所有节点共同管理和维护。可编程性强，通过智能合约能够自动执行和验证条款。	用于跨机构的医疗数据共享、科研数据共享。	
			P3-隐私计算技术	确保原始数据在多方协作计算过程中保持私密性，即使对于计算参与方原始数据也不可见。	应用于跨机构科研数据分析、跨机构远程医疗协作。	
			P4-可信计算芯片技术	物理层面的安全与可信，任何对计算机硬件配置的调整、对软件的更改都会被记录下来，从而保障整个计算运行的环境是可靠的。	可建立隔离执行的运行环境，应用于科研等对安全性要求高的场景。	

2.2.1 基础设施层技术

主要为新型网络技术、数据存储技术和数据计算技术，推动网络基础设施和数据基础设施协同发展，共同构建元医院安全可信的物理底座。

5G-A，全称 5G Advanced，意为 5G 的扩充与增强是基于现有 5G 技术进一步演进的通信技术，也称 5.5G。它旨在进一步提高数据传输速率、减少延迟和增强连接的稳定性。5G-A 提供高达每秒 10GB 的下载速度；延迟低于 10 毫秒支持；每平方公里约百万个设备的连接。

千兆光网/万兆光网，兆光网指的是基于光纤的网络技术，能够提供每秒一千吉比特（Gbps）的数据传输速率。而万兆光网则是指能够支持每秒一万吉比特（10 Gbps）传输速率的光纤网络，适用于高带宽需求场合，例如数据中心。

全屋光网（FTTR），即光纤到房间，全称 Fiber to The Room，是一种将光纤网络直接延伸到用户家中各个房间的技术。这使得每个房间都能享受到高速的光纤互联网连接，满足现代家庭对于高清音视频流、影像流等高带宽应用的需求。

无线局域网，指的是使用最新无线通信标准（如 Wi-Fi 6 或 Wi-Fi 6E）的无线网络，可以提供比传统 Wi-Fi 更快的数据传输速度，更高的连接可靠性和更大的客户端容量。

卫星互联网，通过在地球低轨道部署大量小型卫星，提供全球范围内的宽带互联网接入服务。这种技术尤其适合覆盖偏远地区和海洋，为那些传统有线或无线网络难以到达的地方提供互联网访问。

物联网，通过蓝牙、WiFi、LoRaWAN（全称 Long Range Wide Area Network）、Zigbee 等短距离无线通信技术，将各类传感器（例如温湿度、光照、压力、气体成分、加速度传感器等）、射频识别技术（全称 Radio Frequency Identification, RFID）、全球定位系统（全称 Global Positioning System, GPS）等采集的信息与网络相连接，实现物体之间的信息交换和通信。核心目标是实现智能化的识别、定位、跟踪和监管。这使得物体能够在不需要人类干预的情况下彼此进行自主通信，从而提高了效率。

边缘计算，是一种分布式计算的架构，它的核心是在数据产生的地点或靠近数据源的地方进行数据处理，而不是在传统的集中式云计算中心。通过在网络的边缘进行数据处理，能够显著减少数据传输的延迟、减少敏感数据的传输距离，从而降低数据泄露的风险。

云计算，是一种基于互联网的计算方式，通过提供按需访问的计算资源，包括应用程序、服务器（物理服务器和虚拟服务器）、数据存储、开发工具、网络功能等，来支持组织机构和个人的数字化需求。用户无需在本地计算机或服务

器上安装软件、存储数据、计算数据，而是可以随时随地访问各种在线服务。可提供的在线服务有基础设施即服务（全称 Infrastructure as a service, IaaS）、平台即服务（Platform as a Server, PaaS）和软件即服务（Software as a Service, SaaS），满足不同用户的需求。

高性能计算，指的是利用超级计算机和集群系统进行的大规模计算，通常用于要求极高的科学和工程计算任务，比如基因组测序和复杂的物理环境仿真。

异构计算，涉及使用多种类型的处理器或多种计算资源来提高效率和性能。例如，一个系统可能同时包含中央处理器（全称 Central Processing Unit, CPU）即图形处理器（全称 Graphics Processing Unit, GPU）和现场可编程门阵列（全称 Field-Programmable Gate Array, FPGA）等，以最有效地执行不同的计算任务。

智能计算，指的是集成了人工智能技术的计算系统，它们能够自我学习和适应，以优化计算性能和数据处理流程。

类脑计算，也称作“神经形态计算”，指模仿人脑结构和功能的计算系统设计，目的是创建出能像人类大脑一样处理信息的计算机系统，以提高计算效率和模式识别能力。类脑计算通常涉及到神经网络的发展，尤其是在深度学习和其他机器学习领域中的应用。

2.2.2 数据汇聚层技术

用于数据采集、数据治理、确权、跨平台流通，价值发掘等。实现数据流通到价值释放的转变，构建元宇宙安全可信的数据基础设施。

ETL 技术，全称 Extract, Transform, Load，指的是从各种来源提取数据(Extract)、进行清洗和转换(Transform)、然后加载到目标系统 (Load) 的过程。ETL 技术是数据仓库建设的关键步骤，对于数据分析和商业智能至关重要。

CDC，动态数据捕捉技术，又叫变化数据捕获技术，全称 Change Data Capture，是一种实时监控数据库变化并捕捉这些变化的技术。它允许系统在数据发生变化时立即响应，而不是依赖于定时批处理。CDC 技术在数据同步、实时分析和业务决策支持系统中具有重要作用。

系统日志采集技术: 利用专门的工具如 Hadoop 的 Chukwa、Cloudera 的 Flume 和 Facebook 的 Scribe 等，这些工具可以支持高速的日志数据采集和传输，通常用于系统监控和分析。

2.2.3 知识抽取层技术

知识图谱技术，是一种用于描述实体及其相互关系的数据结构，它可以将复杂的数据信息组织成易于理解和查询的形式。知识图谱技术在搜索引擎优化、智能推荐系统、自然

语言处理等方面发挥着重要作用，帮助机器更好地理解世界并提升用户体验。

2.2.4 虚拟构建层技术

用来将物理实体映射到网络空间，从而实现虚拟的时空构建、虚拟物品构建、虚拟人构建。

数字孪生技术，通过创建一个物理实体的数字副本来实现对该实体全生命周期的模拟和分析。数字孪生技术的关键在于将物理世界的对象或系统与虚拟世界中的数字模型相结合，实现两者之间的实时双向同步映射。数字孪生的实现依赖于传感器等设备收集的实时数据，传感器要足够敏感，以确保采集数据形成的数字模型与物理实体状态一致。

3D 建模技术，是利用三维制作软件在虚拟三维空间构建具有三维数据的模型。通常包括多边形网格建模和 NURBS 建模。多边形网格建模适合制作效果图和复杂场景动画，而 NURBS 建模（全称 Non-Uniform Rational B-Splines）则适用于要求精细、弹性与复杂模型的量化生产用途。此外，三维扫描作为一种新的建模方式出现，通常使用激光扫描仪来发射激光，并通过接收反射回来的激光来测量物体表面的点位信息，代表了物体表面的几何形态，从而快速获取现实世界物体的三维数据。

全息影像技术，或称为全息技术。是一种利用光的干涉和衍射原理来记录和再现物体三维图像的技术。它通过记录物体反射或透射光波中包含的全部信息（即振幅和相位），可以在空中凭空创造肉眼能够直接看到的虚拟影像，让人产生多角度、全方位的 360° 立体视觉体验。

实时化仿真技术，是数字仿真技术、计算机技术和并行处理技术发展融合的技术产物。即数字仿真模型响应速度与实际系统的响应速度相同，即模型仿真运行 1s 对应实际时间的 1s，从而实现虚拟时空与现实时空是同步的，以便于进行实时的监控和控制。

物理精准仿真技术，是一种结合了先进的物理模型和现代计算技术的仿真方法，它能够在虚拟环境中准确地模拟现实世界的物理现象和过程。具有高度准确性，物理精准仿真技术能够提供与现实世界非常接近的模拟结果，因为它基于精确的物理定律和原理来构建模型。实时性，该技术支持实时仿真，可以即时反映系统状态的变化，对于需要快速响应和决策的场合尤为重要。支持故障定位，可以用来精准定位运行故障，帮助运营人员迅速做出决策。

云化建模仿真技术，又叫云端仿真。结合了建模仿真理论、异构并行计算技术和云计算技术的新兴技术。主要特点包括：用户协作增强，能够支持多用户同时在线协作，共享计算资源和数据，提高团队工作效率。软件成本降低，用户

无需在本地安装复杂的软件就可开展仿真模拟，其前处理，后处理都在 web 浏览器上进行，求解调用云端的开源求解器。用户可以将所有数据保存在云服务器上，只要能访问网络，就可以访问自己在云端建设的模拟场景。可以通过云端直接访问和使用，这样减少了软件的安装和维护成本。使用地点灵活，由于是基于云的服务，用户可以在任何有网络的地方进行工作，提高了工作的灵活性。

数据驱动混合建模技术，结合了“数据驱动模型”和“机理模型”的一种先进技术，模型不仅依赖于数据，还融入了理论知识，是具有物理常识的人工智能模型，旨在提高模型的准确性和效率。数据驱动模型依赖于大量数据，通过机器学习等方法来描述那些计算成本高昂或难以用简单数学公式表达的复杂关系。在混合建模中，数据驱动模型可以捕捉到实验数据中的模式和趋势，从而预测未知条件下的性能。机理模型，这种建模基于已知的物理、化学或其他领域的基本原理，用于表示过程相关的原理。它们通常具有明确的理论基础，能够提供对系统行为的深刻理解。在混合建模中，机理模型负责解释那些可以通过科学原理来解释的现象。

BIM 技术，全称 Building Information Modeling，即“建筑信息模型”技术，是一种基于数字信息的模拟技术，用于在建筑工程项目的设计、建造和管理过程中实现高效和精确的工作流程。它涉及建筑物的物理和功能特性的数字表

示形式，如墙壁、楼层、屋顶等构件的位置、尺寸、材料属性等。通过 BIM，建筑师、工程师和施工团队可以更好地协同工作，优化设计决策，减少错误和成本，提高建筑质量和效率。

GIS，全称 Geographic Information System，即“地理信息系统”，是一种用于捕捉、存储、分析和管理地理空间数据的计算机系统。它能够将地理数据与地图相结合，帮助用户更好地理解空间模式和关系。GIS 在环境管理、资源分配等领域发挥着重要作用，例如可以用来分析患者人流量、规划医院内部基础设施或监测环境变化。

全景摄像技术，是一种能够捕捉并创建 360 度全方位图像的技术，它通过多镜头或单镜头采集图像，再经过拼接处理形成无缝的球状全景视频。随着技术的不断进步，全景摄像在分辨率、拼接质量、延迟等方面都在不断优化，以提供更加流畅和真实的观看体验。

2.2.5 用户接入层技术

主要提供可穿戴设备让用户进入虚拟空间，并提供感知交互。

传感技术：核心在于传感器，这些设备能够感知周围环境中的各种物理量、化学量或生物量，并将这些模拟信号转化为数字信号，以供中央处理器处理。处理后的结果可以是

气体浓度参数、光线强度参数、温度湿度数据等，这些数据可以被显示出来或者用于进一步的分析和应用。

力反馈技术，是一种允许用户感受到虚拟环境中物体或表面的触感和压力的技术。它通过使用特制的设备，如带有传感器的手套或操纵杆，将物理力量传递回给用户，从而模拟真实世界中的触觉体验。

空间音频技术，也称为 3D 音效或空间音效，是一种通过操控立体声扬声器、环绕声扬声器、扬声器阵列或耳机等发音设备来模拟声音在三维空间中的位置的技术。这种技术可以创造出更加沉浸式的听觉体验，常用于电影、游戏和音乐制作中。

动作捕捉技术，通过追踪演员或物体的运动来记录其位置和动作信息的技术。这些数据随后可以被用来控制计算机生成的图像角色或模型，使它们能够以极其逼真的方式移动和表现。

脑机接口技术，是一种直接连接大脑和外部设备的通信系统，允许用户通过思维来控制计算机或其他电子设备。这项技术涉及脑科学、认知科学、心理学、人工智能、信息通信技术等各个领域，可实现更加直观的人机交互方式。目前已有开展脑机接口技术与生成式人工智能结合的实验，直接由从大脑脑电图信号直接生成高质量图像的新方法，无需将

思维转化为文本，将为与自闭症、失去语言能力患者的沟通交流、梦境可视化等研究提供全新的手段。

裸眼 3D 技术，是一种无需佩戴特殊眼镜即可观看到三维效果的显示技术。它通过使用特殊的屏幕或光学元件来分别向观众的左右眼传送不同的图像，从而营造出立体的视觉效果。

VR 技术，全称 virtual reality，即“虚拟现实”技术，是一种利用计算机生成的模拟环境来提供沉浸式体验的技术。用户通常需要佩戴头戴式显示器（HMD）来进入这个完全由计算机生成的虚拟世界。

AR 技术，全称“Augmented Reality”，即增强现实技术，是一种将计算机生成的图像叠加到现实世界中的技术。这种技术可以通过智能手机、平板电脑或特殊的 AR 眼镜来实现，为用户提供额外的信息或增强他们对现实世界的感知。

MR 技术，全称“Mixed Reality”，即混合现实技术，结合了虚拟现实和增强现实的特点，允许虚拟对象与现实世界中的物体进行交互和共存。MR 技术提供了一种新的方式来融合真实和虚拟世界，创造出更加丰富和互动的体验。

手势与眼动追踪技术，包括手势追踪技术和眼动追踪技术。手势追踪技术指的是允许系统通过感应用户的手势动作来实现交互控制，这包括了裸手识别和数据手套等多种交互方案。手势追踪技术可以让用户不依赖于传统的输入设备如

鼠标或键盘，而是直接通过手势来控制与设备交互。眼动追踪技术指的是通过监测用户的眼部活动，尤其是瞳孔的移动，来确定用户的视线方向和注视点。瞳孔角膜反射法是眼动追踪技术中的主流方法，它通过眼动摄像机捕捉眼睛的高分辨率图像，再借助算法实时定位用户的视线方向和落点。两种技术在未来的发展中可能会相互补充，共同推动人机交互向更自然、智能化的方向演进，实现高精度、多种类、低延迟的手势识别和眼动追踪。

2.2.6 应用场景层技术

主要是在虚拟空间基础上的内容创造和生产技术，从而提高虚拟空间中内容生产效率和质量，实现多人实时协同、“端、边、云一体渲染”的内容生产。

实时渲染技术：一种能够在短时间内生成高质量图像的技术，可使虚拟空间中的虚拟物品、数字人、周围环境看起来更加逼真。目前比较主要的虚拟重建技术流派包括：3DGS 技术（全称 3D Gaussian Splatting，3D 高斯溅射）以及 NeRF 技术（全称 Neural radiance fields，神经辐射场）。其中，3DGS 技术能显性表达三维信息，直接呈现出三维世界的位置，颜色，透明程度。NeRF 技术则是一种隐式表达三维信息的技术。其通过构建神经网络首先学习一个静态 3D 的场景图像，提炼图像关键特征，然后实现任意视角下该 3D

场景图像的合成，可达到摄像机级别、逼真的新视图合成。这些技术的核心在于图形数据的实时计算和输出，使得用户可以立即看到渲染结果，让创建出的虚拟应用能保持高质量、细腻、逼真的视觉效果。

动画解算技术：为了使数字人的面部表情和动作行为看起来更加生动需在动作捕捉之后，通过动画解算技术来调整和优化捕捉到的动作数据，确保数字化动作的流畅性和准确性。

智能审核技术：是借助 AI 对虚拟空间及空间中创造的内容（包括画面、音频和文字三种维度）进行违规检测。代替人手计算和存储数据，代替人脑对信息和规则进行判断。

智能编码技术：通过高效结构表达三维空间不规则网格数据、多源媒体同步关联和网元协同处理、存算网一体处理芯片等技术，形成 6 自由度（6DoF）数据高效压缩编码方法、跨网同步封装协议和全新媒体处理器结构。基于人工智能辅助的视觉视频特征编码和沉浸式视频压缩编码技术，构建虚实融合的新型编解码模型。可在重建几何质量峰值信噪比（全称 Peak signal-to-noise ratio, PSNR）70dB、属性质量 40dB 条件下，密集 6DoF 点云达到 250 倍压缩率，实现跨网分发精准同步。

2.2.7 智能决策层技术

提供分析、逻辑思考及决策技术，从仿真模拟人的个体思维到模仿人的群体思维，从而实现技术辅助于人到技术启智于人的质变。

深度学习技术，是机器学习领域的重要分支，它的核心在于使用多层神经网络来模拟人脑处理信息的方式，从而能更好开展语音识别、图像识别、自然语言处理任务。包括但不限于卷积神经网络（全称 Convolutional Neural Networks, CNN）、循环神经网络（全称 Recurrent Neural Networks, RNN）、深度信任网络（全称 Restricted Boltzmann Machines, DBN）、生成对抗网络（全称 Generative Adversarial Networks, GANs）、堆栈自编码网络（全称 Stacked Auto-Encoders, SAE）等。除了上述训练用算法，深度学习还包括了各种优化技术和优化算法，如调整参数、改变激活函数、正则化技术、采用梯度下降算法、Adam 优化算法（全称 Adaptive Moment Estimation）、RMSProp（全称 Root Mean Square Propagation）优化算法等，这些都是深度学习训练过程中不可或缺的部分。

大模型技术，人工智能深度学习领域的又一个重要分支，是深度学习技术的重大突破和质变。包括 Transformer 技术，即自注意力机制进行编码和解码机制的神经网络架构，能够处理长序列数据；BERT 技术（全称 Bidirectional Encoder

Representations from Transformers)，即使用掩码语言模型和下一句预测任务进行训练等大模型技术。与传统深度学习算法（例如 RNN、CNN 等）训练出来的模型不同，Transformer 架构训练出的大模型初始版本拥有千亿量级的参数，远远超过传统深度学习技术产生的模型，这使得它们能够捕捉到数据中细微的模式和关系。由于模型的规模巨大，训练和推理过程需要大量的计算资源，这通常涉及到使用高性能 GPU 集群或张量处理器即 TPU（全称 Tensor Processing Unit，TPU）集群。

群体智能优化仿真技术，是系统仿真、自动化和人工智能等领域交叉产生的相关技术。群体智能是指众多简单个体组成的群体通过相互之间的合作来实现某一功能，完成某一任务，达成某一目标，在此过程中所体现出来的基于群体的宏观智能行为。群体智能优化仿真技术是对群体智能的模拟，可以用于患者群体行为决策的仿真、医院人流预测、应急人流疏散路径规划、复杂问题最优决策等。

2.2.8 安全保障层技术

安全保障层技术提供对元医院各个组成部分全方位的保护，实现对整个虚拟空间本身、虚拟空间中内容（例如虚拟资产、数字人）的保护，以及用户身份及隐私安全的保护。

零信任技术，是一种网络安全模型，它打破了传统固定

边界安全防御的理念，提出“持续验证，永不信任”的新型安全理念，该理念默认不信任企业网络内外的任何人、设备和系统，基于持续验证和动态授权的原则，对访问主体进行持续动态身份验证和授权，使得组织机构能够在无边界的网络环境中更安全地运营。

区块链技术，是一种分布式数据库技术，其核心特性包括数据可溯源、难以篡改、公开透明以及智能合约自动执行等。它通过去中心化的方式，实现了数据的可靠存储和传输，特别适用于多方协作、多方信任和数据共享流通的场景。可用在元医院中元医院用户行为记录、虚拟物品所有权的记录和追溯等。

隐私计算技术，是一类技术的统称，包括全同态加密、安全多方计算、零知识证明等。这些技术使得在不泄露原始敏感数据的前提下，可以进行对数据联合分析计算，实现数据的“可用不可见”。

可信计算芯片技术，可信计算芯片技术主要依赖于称为TPM（全称 Trusted Platform Module）或 TCM（全称 Trusted Cryptography Module）的专用硬件芯片。即在主板上增设一个安全处理芯片，该芯片作为“可信根”固化在电脑上。当电脑启动进程时，会首先执行 BIOS（全称 Basic Input/Output System）的引导代码，是计算机硬件与操作系统之间的接口，将执行代码进行哈希运算后将得到的值存

储在可信根的平台配置寄存器（Platform Configuration Register, PCR）中，用来记录和报告计算机系统的当前状态，包括操作系统、固件以及硬件的配置信息。PCR 中的记录不能够被修改和覆盖，因此任何对计算机硬件配置、软件等的更改都会被记录，且无法回溯修改。

三、元医院典型应用场景

当前尚未有任何一家医院完成全场景“元医院”建设工作。但是通过文献资料案头研究、专家访谈、面向医院和厂商的问卷调研，一些虚实融合的典型场景逐步显现、初具雏形。本报告将元医院场景划分为六类（见图 7），包括：元诊室、元手术室、元病房、元科研、元教学、元管理。上述六类场景又有着与不同科室的具体病种、不同服务对象、业务流程紧密融合，划分出更多细分领域子场景。本报告进一步提炼出逐渐清晰并在国内外有落地实践案例的典型应用场景 23 个，每个应用场景后面附带建设所需技术列表，该表格通过厂商调研得出。

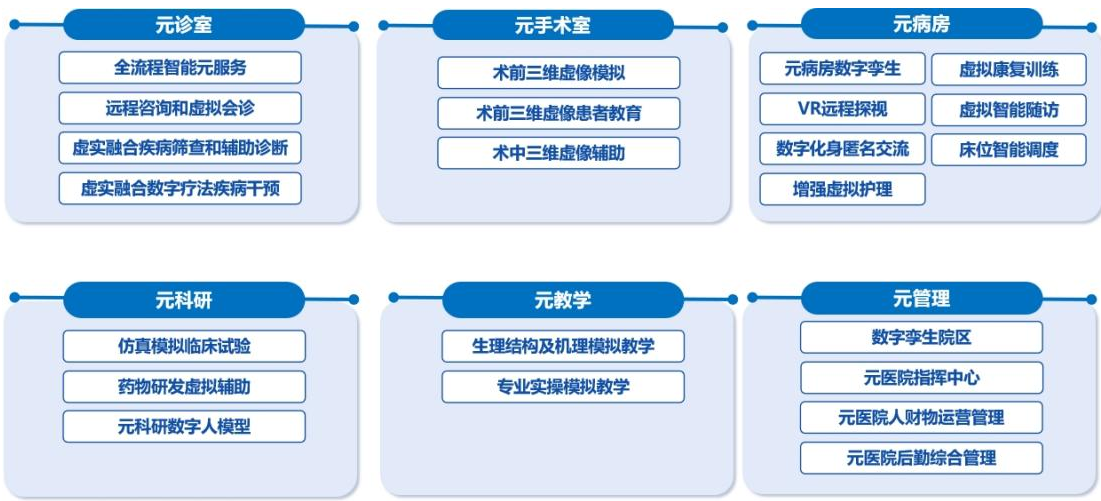


图 7 元医院典型应用场景

这些应用场景共同点在于都普遍使用虚实融合技术，结合多模态数据，在虚拟空间中构建出细节逼真的虚拟影像。这些虚像可以是人、可以是组织器官、可以是物品，还可以是药物分子。用户通过设备可以看到这些虚像，从而获得超

越人眼视觉的能力。用户还可以围绕在空间中“悬浮”的虚像开展观摩、讨论、模拟操作等工作。部分应用场景除了让用户看到虚拟影像外，还可提供力反馈、动作追踪等触觉和动作感受能力；甚至模拟声音并提供听觉感受能力，延展了用户在元宇宙中的感官，使其获得更为逼真的体验。值得注意的是，目前上述应用场景大部分在实际应用中存在一定的局限性。

3.1 元诊室：多模态数据融合的诊疗空间

传统医院诊室等医疗资源由于受到实体物理空间局限，医院提供的疾病筛查和诊断、健康咨询和问诊、康复训练和随访等业务通常在线下有限的实体医疗场所内实现。患者（智慧）服务在传统互联网医院中大多沿袭二维界面的互动模式，面临互动体验单一、信息传递扁平化的局限，难以充分满足患者对便捷性、个性化服务日益增长的需求。同时，互联网医疗过程中患者看病就医体验度低也是当前医疗系统面临的问题。在传统面对面医患交流环节，也会存在患者无法理解二维医疗图像数据传递的信息，例如 MRI、CT、超声等人体器官和病灶的二维生理学和形态学图像以及标准部位解剖模型，均无法直观地观察疾病病灶或人体器官组织的三维形态和空间毗邻关系，患者无法知晓疾病病理、治疗/干预、康复全过程，静态的数据与模型使医患沟通互动性不足。此外，医生团队的协作也受到时空限制的影响，导致高水平优质医疗资源无法下沉到基层地区。亟需以数字技术赋能，使医疗服务摆脱时间、空间限制，加快医疗资源数字化，节约医疗成本，提高医疗效率，推动优质医疗资源扩容和下沉。

元诊室是基于数字疗法、数字孪生、XR 拓展现实、人工智能等元宇宙技术，建立元宇宙多模态融合智能虚拟诊室，为医患双方提供虚拟现实空间交流环境，为门诊患者提供专

属的虚拟诊室服务，应用于患者“防、筛、诊、治、康”等医疗环节。元诊室是医疗技术创新的一个重要领域，通过推动数字疗法、数字孪生、虚拟现实、增强现实、混合现实、人工智能、大数据等技术在医疗领域的应用和发展，不仅可以提高医疗服务的质量效率，还可以探索新的治疗方法。依托多模态融合智能元诊室，可以创新医疗技术的应用，发掘元宇宙数字疗法、疾病筛查和诊断、远程咨询和问诊、远程康复和随访等场景，通过虚拟现实技术实现医生和患者之间的实时互动，实现虚拟空间的医疗服务，提高看病就诊效率、减少人工成本、实现跨机构互通、推动优质医疗资源下沉基层，提高患者看病就医体验。

3.1.1 全流程智能元服务

全流程智能元服务指的是在元诊室中利用先进的空间渲染引擎，实现医疗场景的高保真模拟与视觉渲染美化，为患者打造出身临其境的元医院数字孪生世界。在此空间基础上，衍生出一系列创新的患者服务场景，包括智能化诊疗预约、多模态就诊信息推送服务、数字孪生实景导诊服务、智能陪诊服务、远程急救衔接与跨院转诊服务等。这些元服务贯穿诊前咨询、诊中服务、诊后随访乃至全周期健康管理，覆盖患者就医的每一个环节，重塑患者的就医流程^[25]。

智能化诊疗预约服务，患者可通过虚拟现实界面，依据个人时间和医生专长，自由选择线上或线下就诊模式。系统可智能推荐最合适的就诊时段与专家，实现诊疗预约的高效精准匹配。患者预约时不仅能预览医生虚拟化身数字人的形象和其他患者的评价，还能通过 VR 等技术构建的虚拟医院环境和医生形象，预先模拟体验诊疗环境，减少初次到访的陌生感与紧张情绪。确认预约后，集成智能通知系统可以通过电子邮件、短信或应用程序内通知等多种渠道，自动发送包含就诊指南和日程提醒的通知，避免患者错过任何重要信息，确保从预约到就诊整个过程的流畅便捷，极大提升患者就医体验和就医满意度。

多模态就诊信息推送服务，患者进入元医院虚拟诊疗空间后，智能系统根据其电子健康记录、最新的诊断进度及个人偏好，依托虚拟助手或集成的智能穿戴设备，实时推送高度定制化的医疗信息。例如，患者可以即时收到检查结果、医生的诊断建议、后续治疗步骤说明等，乃至依据患者健康状况定制的饮食和运动建议，全方位促进康复进程。这种推送不仅限于传统的文本形式，还融入了语音播报、3D 动画演示乃至 AR 互动体验，并使用前沿的 UI/UX 设计保障信息以最直观、吸引人的方式呈现给患者，帮助患者理解复杂抽象的医疗信息，减少医患之间的沟通障碍，增强患者治疗的主动参与感和满意度。

数字孪生实景导诊服务，为患者打造一种沉浸式、虚实交融的导诊服务。通过 GIS 与物联网技术确保物理空间与虚拟环境的精准映射与实时互动，无缝连接实体诊室、药房等，实现空间智能感知互动，指导患者高效导航并有效获取各类医疗资源。通过 3D 建模和 AR 等技术，构建高度逼真的数字孪生实景导诊体系，为患者提供精准的实时路线规划指引，并为学生提供自主漫游院内虚拟空间的导航体验，实现全天候的线上线下全路径引导可视化就医。

智能陪诊服务也是元诊室的核心服务之一，以其跨平台兼容性、多终端应用和线上线下融合的特性，为学生提供从最初的分诊咨询、导诊服务、预问诊，到详细的检查流程指引、健康知识宣教，直至诊后的持续跟踪与随访服务。智能陪诊助理能够通过物理空间与虚拟信息的智能互联，依托高精度 AR 导航能力，智能化生成最优路径，提供直观的路径指引，帮助学生穿梭于不同科室、检查室、停车场等物理空间。智能陪诊助理还能在途中通过云计算平台实时处理并分析大量医疗数据，保障信息即时更新与个性化推送，为学生穿插播放公益宣传、健康小贴士等 AR 导览，让就医之旅变得高效且丰富。

远程急救衔接与跨院转诊服务，可以实现急救衔接服务能够在第一时间响应急救需求，为学生争取宝贵的生存希望。学生或目击者可通过智能穿戴设备一键触发紧急求救信号，

系统立即启动先进的 AR 增强现实导航，利用 GPS、GIS 系统及环境感知技术，精准定位距离最近的急救资源（如无人机搭载的自动体外除颤器设备、救护车等），并以最短路径、最快速度抵达患者身边^[26]。同时，虚拟急诊室在元医院空间内被即刻激活，这一跨越物理界限的急救平台支持远程医疗专家即时接入，借助患者佩戴设备内置的传感器与无线通信模块保证生物监测数据等关键指标的连续采集与低延迟回传，并结合现场急救人员传输的高清视频流，对患者状况进行全面而深入的初步评估。医疗急救专家们能够基于院前急救现场传回的信息，迅速为患者制定“零延迟”的救治方案，指导现场人员实施初步救治，为后续院内抢救和治疗赢得宝贵时机。当患者需要更专业的治疗或专科服务时，主治医生能够即时在高度集成的虚拟平台上发起转诊请求。AI 算法驱动的智能匹配系统将基于患者病情、个人偏好以及接收医院的专业特长进行深度数据分析，智能匹配最适合的转诊医院和医疗专家。转诊过程中，元诊室还可提供虚拟咨询服务，允许患者在正式转诊前，有机会通过虚拟会议技术与即将接手治疗的新医生面对面交流，解答所有疑虑，确保转诊流程的平稳过渡，为患者提供连续高质量的医疗服务体验。

在全流程元服务场景中主要应用到的元宇宙关键技术有：无线局域网、物联网、高性能计算、智能计算、动态数

据捕捉技术（CDC）、VR、AR、MR、动作捕捉、实时渲染、数字孪生等技术。

表 2 全流程元服务场景应用到的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
N1-无线局域网技术	构建院区内网络，实现智能设备接入。
N2-物联网技术	实现智能设备彼此间的互联互通。
C4-高性能计算技术	提供虚拟数字健康人、虚拟医生和院内实景导诊体系的构建所需要计算能力。
C5-智能计算技术	提供虚拟数字健康人、虚拟医生和院内实景导诊体系的构建所需的计算能力。
D2-动态数据捕捉技术（CDC）	又叫“变化数据捕获技术”，在做数据抽取处理时，重点考虑增量抽取，只采集发生变化的数据。CDC 技术可以加快三维虚像建模的速度和三维虚像刷新、更新的速度，实现三维虚像与物理实体保持动态一致。
V3-VR 技术 V4-AR 技术 V5-MR 技术	在诊疗预约、院前急救衔接、实景导诊、患者康复和智能陪诊等场景提供沉浸式全景浏览及互动功能，支持查看实地环境、物资设备与数字人医生等。
S3-动作捕捉技术	结合 GPS、GIS 系统，利用各种传感器和算法来理解院前急救周边环境，快速定位急救资源。
M6-实时渲染技术	支持患者可穿戴设备实时收集生物监测数据等关键指标的连续采集和低延时回传。
E1-数字孪生技术	可视为一个或多个重要的、彼此依赖的数字映射体系，将整个诊疗流程各个环节全场景一比一还原映射到虚拟空间中，便于全流程的优化和改进。

3.1.2 远程咨询和虚拟会诊

在健康咨询和疾病会诊阶段，医生和患者之间因为存在地理位置上的差异、时间预约上的差异、医学术语理解上的差异等等，从而导致医患沟通的鸿沟。为改变上述情况元诊室应运而生，通过创造沉浸式和互动式体验，将远程咨询和

诊疗提升到一个新层次。**元诊室**是指利用元宇宙技术构建虚拟空间和专家、患者数字人，实现在线上虚拟空间面对面门诊，医患双方可在更私密的环境中实时互动，减少了在实体医院中遇到的嘈杂、拥挤和不便。此外，还能使医疗团队即便不在同一地点，也能同时接入虚拟空间，进行有效的合作和决策，提高多方会诊的效率和效果。在元诊室中，患者可以通过 AR/VR 眼镜、患者数字人与真人医生或虚拟数字人医生在线沟通。医生可以通过数字人的身份在元宇宙医院进行调整处方和治疗建议，提供虚拟空间面对面会诊、咨询等服务，让患者可以远程实现与医生“面对面”沟通效果，实现患者在虚拟医疗空间中接受真实问诊服务，打破了医院的时间和空间限制，有效缓解医患之间的痛苦。减少因距离而产生的沟通障碍，提高医疗服务的便捷性和效率。

在远程咨询方面，患者可进入一个虚拟诊室^[27]，通过数字技术看到医学专家、听到其声音，双方犹如在同一物理空间中进行互动，体验效果更好、更具吸引力。通过医生数字人的咨询、初步筛查和辅助诊断，真实专家可以更快速、更精准判断患者病情，提高咨询效率。例如，虚拟数智专家对体检报告进行专业解读，以数字孪生技术虚拟人体模型，对体检结果出现的脏器健康问题进行分析，推演健康/疾病发展模型，并提出个性化建议。此外，**患者还能实现匿身远程咨询**。部分患者在咨询医生的时候可能出于隐私保护等心理，

特别是在讨论隐疾的时候，不愿意将自己的形象暴露展现到医生面前。针对此种情况患者可以通过创建“数字化身”（又叫数字人）掩盖隐私，隐去不愿意暴露和展示的部分^[28]。例如在某些泌尿和生殖系统疾病中^[29]，患者可能会因为害羞或尴尬的感觉而犹豫不决地描述他们的病情。使用数字化身可以掩盖隐私，增强患者和医生之间的沟通意愿，并有助于解决尴尬的问题。患者可以使用 Zepeto 平台创造头像和数字化身。它允许患者从一张简单的照片开始创建自己的数字化身，患者照片会被处理并进行修饰，从而去掉患者不愿意展示的部分。

在虚拟会诊方面，参与方可获得诊疗空间全部信息，促进医疗协作。医疗团队成员无论身处何地，都能以虚拟数字人的形式参与到会诊中，进行实时通讯与协作。虚拟会诊突破了基于音视频的远程会诊只能共享屏幕上内容的限制，可以投射医院会议室，甚至可以重现手术室内、急诊室内、急救车内、病房内全部环境信息。通过虚拟会诊让世界各地的医生和专家进入虚拟空间，实现时空全量信息同步，使他们能够在虚拟空间中共同讨论病例、分享知识和经验，有助于提高诊断的准确性和治疗效果。**参与方可选择丰富的交互工具与设备。**为了增强虚拟会诊的交互性，元诊室中的会诊可以利用虚拟现实（VR）或增强现实（AR）设备，如头显设备、空间音频设备、力反馈手套等。这些工具可以让医生在虚拟

空间中直接与患者器官、组织、病灶的三维模型互动，更详细地检查患者电子病历、检查检验及影像等资料。可为患者提供更私密的多对一医疗体验。在元诊室虚拟会诊中，患者可真正享受“多对一”的医疗服务，即便多人会诊但是虚拟空间可屏蔽外部的噪声干扰，让医生和患者安心、放心地实时互动。参与会诊的每个医生可以在虚拟空间看到患者的全部历史病历资料、患者的语音表述能转化为文字投影到医生眼前。患者可以看到医生给出的以三维虚像或音视频形式展示的诊疗方案，与医生讨论，共同参与到诊疗方案制定中，提高患者的依从性。

在远程咨询和虚拟会诊场景中主要应用到的元宇宙关键技术有：物联网、无线局域网、5G -A、云计算、高性能计算、智能计算、数字孪生技术等。

表 3 远程咨询和虚拟会诊场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
N2-物联网技术	连接远程会诊和咨询的音视频设备。
N1 无线局域网技术	实现院内设备的联网。
N3-5G-A 技术	基于现有 5G 技术进一步演进的通信技术，旨在提升网络性能，包括提高数据传输速率、减少延迟和增强连接的稳定性，用于保证远程咨询及会诊的实时性。
C2-云计算技术	数据传送到云端，实现诊疗多方的共享。
C4-高性能计算技术	为构建虚拟诊室诊间提供计算能力。
C5-智能计算技术	为构建虚拟诊室诊间提供计算能力。
E1-数字孪生技术	将线下诊室、诊间的空间及室内陈设映射到线上。
S1-传感技术	传输患者的体征，例如面容、舌象、心率等数据。

V3-VR 技术	提供立体影像，为用户带来咨询问诊的临场感。
S3-动作捕捉技术	捕捉并记录患者的动作，例如眨眼、抖动颤动等，对于帕金森等神经系统疾病诊疗提供帮助。
S4-手势与眼动追踪技术	便于医生操作和控制系统和设备。
S5-脑机接口技术	对于不能自行操作进入虚拟空间的患者，提供脑机接口，用意念操作并进入。
I1-深度学习技术	对患者提供的病情数据进行自动分析

3.1.3 虚实融合疾病筛查和辅助诊断

虚实融合疾病筛查和辅助诊断指的是在元诊室里，将所有医疗检查结果、患者健康档案直接集成，通过虚实融合技术建立与患者整体、器官，或病理样本相对应的多模态三维立体虚像^[30]，辅助 AI 对虚像的识别，更具象化地开展疾病筛查和诊断。目前已有案例探索了虚实融合疾病筛查和辅助诊断在专病专科领域的应用。**在精神心理疾病筛查和辅助诊断领域**，识别并提取患者面部特征，模拟重建患者的面部三维影像，只呈现患者与疾病相关的关键面部微表情，保留疾病体征的同时抹去个人身份信息，实现身份和疾病信息的分离，患者面部图像去身份化^[31]；再结合人工智能技术分析患者当前的情绪、情感、精神状态，从而初步判断患者是否具有抑郁症、焦虑症的精神心理疾病，在疾病诊断的同时保护了患者隐私，避免人脸图像信息被窃取。**在急诊科疾病筛查和辅助诊断领域**^[32]，收集到患者生命体征数据，借助模拟仿真技术，实现对器官、躯体、病灶的立体建模，帮助急救医生具备透视人体的可视化诊断能力，迅速定位问题，用于急

性疼痛管理、心脏病发作、晕厥或脑血管意外等疾病筛查和诊断。在心血管科疾病筛查和辅助诊断领域，心脏拥有节律性的收缩和舒张活动，通常难以直接用肉眼观察。将患者检查获得血压、心电数据、血流动力学数据进行立体建模，并将“心脏三维虚像”投射医生眼前，帮助医生可视化透视看到心脏的结构和搏动状况。通过对患者的心脏数据进行立体建模，可以为医生提供一种新的视角和诊断工具，使医生能够快速识别出心肌、血管、瓣膜方面的潜在问题，从而更好地开展诊断。在眼科、耳鼻喉科、神经外科等疾病筛查和辅助诊断领域^[33]，由于眼、耳、鼻、喉、脑、脊髓等器官和组织的解剖结构精细，神经、血管错综密布，通过使用 3D 器官模型和全息图像演示，可以从不同角度旋转、放缩观察器官的立体形象，从而发现微小的病灶，帮助医生在更短的时间内做出诊断。

目前虚实融合疾病筛查和辅助诊断还处于相对早期的探索阶段。面临的主要问题包括：器官、组织、病灶虚像建立时解剖细节的拟真度有待提升，虚像在颜色、质地、分辨率的构建上有待提升；在用户旋转虚像时产生的焦距改变、透视效果体现不够真实；对器官和组织的动态模拟不够流畅（例如心脏搏动、血流），因此要真正精密细致模拟人类视觉感官任重而道远。此外，能直接识别三维虚像上病灶的人工智能模型准确性尚待验证。

在疾病筛查和辅助诊断场景中主要应用到的元宇宙关键技术有：物联网技术、高性能计算、动作捕捉技术、手势与眼动追踪技术、人工智能技术等。

表 4 疾病筛查和辅助诊断场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
N2-物联网技术	物联网实现将诊疗设备互联互通，便于设备间信息互传。
C4-高性能计算技术	高性能计算用来实现虚拟空间中全息图、立体化建模。
S3-动作捕捉技术	动作捕捉技术用来实现捕捉医生、患者的动作并将其转化为数字模型。
S4-手势与眼动追踪技术	手势与眼动追踪技术便于医生在诊断中对仪器设备进行操作。
I1-深度学习技术	基于深度学习技术训练出的模型,可用来对三维虚像上的病灶进行自动判断。

3.1.4 虚实融合数字疗法疾病干预

数字疗法（digital therapeutics, DTx）是近年来兴起的医疗科技新概念。目前，全球监管机构对于数字疗法的定义尚未形成共识。在一些研究中，数字疗法被定义为：“由软件程序驱动，以循证医学为基础的干预方案，用以治疗、管理或预防疾病。数字疗法可以单独使用，也可以与药物、医疗器械或其他疗法配合使用。可以等效于常规药品和治疗方法，为患者提供基于循证医学的疾病管理和治疗”。此类数字干预产品都需要临床验证和真实世界效果证据。目前数字疗法已逐步应用于多种专科专病，主要包括：疼痛管理、精神和心理疾病、睡眠障碍、神经系统疾病等，具体适应症有 30 多种^[34]。随着数字技术的发展，除了软件程序外，人

人工智能、AR、VR 等虚实融合技术也成为数字疗法的重要组成部分。与传统依靠软件干预疾病相比，通过虚实融合技术，可有效提高患者参与度，推动院内外交互应用场景的建立，助推疾病治疗向精准化、个性化方向发展。

在疼痛管理领域^[35]，一些外国医院开始探索用 VR 游戏改善儿童患者术前静脉开放、静脉穿刺、抽血等操作带来的疼痛^{[36][37]}。对比没有使用 VR 游戏干预的接受标准程序化操作的对照组患儿，使用 VR 组的患儿在干预后报告的疼痛和焦虑明显减少；完成操作的时间明显短于对照组。在抽血等操作期间和结束后没有报告头晕、头痛或恶心等不良反应；医护人员满意度得分也明显较高。在慢性疼痛管理领域，2021 年 11 月，AppliedVR 公司的 RelieVRx 数字疗法获得了 FDA 审批^[38]。这是第一个 FDA 授权的 VR 疼痛数字疗法，用于慢性腰痛辅助治疗。RelieVRx 的治疗周期为 8 周，患者需每天使用 RelieVRx 进行 7 分钟的 VR 训练，例如内感受，疼痛分散，放松和行为矫正。这一疗法首先通过训练反应力的游戏环节增强膈肌呼吸，从而激活和控制患者的副交感神经反应。研究结果显示，与对照组相比，使用 RelieVRx 的患者平均疼痛强度改善 30.3%；疼痛干扰情绪的平均改善率为 28.8%；疼痛干扰睡眠的平均改善率为 19.8%。**在精神和心理领域**，知行为疗法（Cognitive Behavioral Therapy）或暴露疗法（Exposure Therapy）已被证明对治疗焦虑症、恐惧

症和创伤后应激障碍（Posttraumatic Stress Disorder, PTSD）有效。基于 AR/VR 的数字疗法可实现情景再现，让病人暴露在刺激性情境之中，使之逐渐耐受并能适应。在治疗过程中，医生可以根据患者个人经历和体验，利用 AR、VR 技术为患者定制个性化的模拟场景，并通过头显设备将患者带入。患者不必来医院接受治疗，而在居家环境里完成。患者面对经由虚实融合技术再现出来的创伤场景或恐惧因素，与治疗师一起克服恐惧感受和焦虑心理，逐渐消除创伤后应激障碍^[39]。

在睡眠障碍领域，利用 VR 构建虚拟场景，通过视听刺激可调节自主神经系统以诱发积极的情绪和放松体验，通过潜意识层面的暗示，改变影响睡眠的消极认知和情绪，最终达到辅助治疗失眠的作用。2023 年我国首个基于 VR 用于睡眠障碍辅助治疗的数字疗法获批，成为中国乃至全球首张基于虚拟现实（VR）用于睡眠障碍的医疗器械注册证^[40]。

在神经系统疾病领域，弱视是一种神经疾病，是由于大脑而不单纯是眼睛的问题引起的，大多数患者通过佩戴矫正镜片来矫正，然而这并不能解决大脑对于图像接收的根本问题。Luminopia 研发的 Luminopia One 是 FDA 批准的首个基于 VR 的弱视儿童数字疗法^[41]。患儿戴上 VR 头盔观看动画片等视频。头盔内的图像采用光学无限远投影，不会对眼睛造成近视伤害。一旦开始治疗，Luminopia 的零售药房合作伙伴 PhilRx 会将患儿的访问代码分享给医生，医生便可以使

用 Luminopia Adherence Portal 远程监测患者的每周和整体的依从性趋势。目前该治疗方法的临床合作伙伴包括波士顿儿童医院、加州大学洛杉矶分校斯坦眼科研究所等。

目前“基于虚实融合技术的数字疗法”还处于非常早期的探索阶段；存在国内外批准上市的产品少、大范围推广效果有待验证、属于医疗技术还是医疗器械产品分类界定不清晰、虚实融合技术与传统软硬件兼容性不够、互操作性不强等问题，但其作为数字疗法的重要组成部分已成为全球监管共同需要探索的议题。

在虚实融合数字疗法对疾病的干预场景中主要应用到的元宇宙关键技术有：物联网、无线局域网、VR 等。

表 5 虚实融合数字疗法疾病干预场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
N2-物联网技术	物联网、可穿戴设备如智能手表、智能手环、耳戴设备、VR/AR、脑机接口等，为数字疗法应用软件提供外部承载平台和诊疗媒介。
N1-无线局域网技术	无线局域网提供设备接入的院内网络。
V3-VR 技术	VR 技术通过构建虚拟环境平台，应用于虚拟问诊、心理治疗干预、临床手术成像等。

3.2 元手术室：虚实融合的操作空间

“手术”是复杂的医疗技术和干预过程，具有风险高、存在创伤和侵入性、专业性强、需要多学科团队合作、影响患者和家属情感和心理、涉及法律和伦理等特点。对患者状

态、手术时长、术者资质、人员配置、器械装备、药品耗材等诸多因素有较高要求。当前各类手术逐渐向“更微创、更安全、更高效、更精准、更关注患者预后”的方向发展。但是各类手术仍依赖于平面图像、医生脑内记忆和设想图像，并不能提供患者解剖结构完整视图，因此计划复杂的外科手术具有挑战性，存在“**方案设计难精准、患者理解配合难、突发风险难预料、患者预后不理想**”等问题，影响手术的进步。同时为患者和家属带来巨大心理和经济压力；为医院和医生带来不可控的风险。通过元宇宙相关技术赋能下的元手术室，有望对上述问题带来改善。

元手术室是一个通过 VR、AR、MR、数字孪生等虚实交互技术构建的线上线下联动、一体化的医疗操作空间。不仅具有线下物理实体空间和实物，还构建出线上虚拟空间、虚拟物品、虚拟人体（或虚拟组织、器官），并通过头显、眼镜等设备将医疗人员、患者带入其中，与空间中的“虚像”开展互动。

元手术室的出现有望改善术前计划、术中决策、术后患者康复等围术期（从患者决定接受手术治疗开始，到手术治疗结束并度过恢复期）各个环节^[42]，使手术方案更精细更容易设计让医患双方及医疗团队内部对方案的理解更为一致、让围术期医疗风险可知可控、预后康复训练更到位效果更好。

3.2.1 术前三维虚像方案模拟

术前三维虚像模拟是指使用传统的患者二维医学数据（包括电子病历、检化验报告、CT、X 光、MRI 等医学影像等）构建出病灶组织、器官的三维影像，即一个立体的“虚像”，从而让手术者具备能穿透人体看见器官、组织内部，实现“超视觉”观察。在此“虚像”上医疗团队可开展手术术式模拟、操作方案讨论、手术突发情况和并发症预演，并进一步洞察人体虚像对操作的反馈。

术前方案模拟和演练类应用在元手术室场景里较为多见。在心血管外科手术和介入手术^[43]，元手术室将多个成像源的数据整合，然后将心腔、冠状动脉解剖结构、血管系统立体可视化，从而为手术者提供可视化的精细解剖结构，便于制定精准心血管手术计划。在肿瘤外科^{[44][45]}，癌症术前多学科规划需要外科医生、放射科医生、病理学家、专科护士、物理治疗师等多个学科的联合投入，虽然为多学科团队（MDT），但每个人脑海中只有单一学科的知识且脑海中设想的手术方案不能直观分享给团队其他人。在元手术室中，来自不同科室的患者信息，包括病史、血液检查、成像、解剖学等都可以被整合，并以“虚像”的形式投射到医疗团队的每一个人的视野中，团队成员可围绕“虚像”开展操作、讨论，从而便于团队成员彼此共享知识，共同开展肿瘤手术规划，提高手术精度。在皮肤和整容手术领域^[46]，可使用 3D

解剖可视化和虚拟导航进行手术程序和手术规划，例如皮瓣设计模拟、肉毒杆菌毒素注射和填充剂真皮深层注射模拟、美容激光手术模拟。此外，在虚拟影像模拟的基础上增加“触觉辅助”可以为手术规划和美学结果提供更全面的参数。借助触觉传感技术，操作员可以从实时感觉和振动触感的反馈中受益，从而简化操作并提高精度。在有触觉辅助手术的过程中，皮肤的生物力学参数，例如：弹性、紧致度、底层结构，也可被密切跟踪，并进一步用于构建患者皮肤个性化的影像。在与手术密切相关的疼痛科，手术及医疗操作（例如穿刺、插管、注射、抽血等）通常为患者带来痛苦，疼痛管理因此受到重视。基于元宇宙相关技术，可根据患者数据生成骨骼、血管、肌肉“虚像”，并在虚像上模拟开展化疗药物输注、腰椎穿刺、输液通路建立、抽血、静脉注射、伤口敷料更换等相关操作^[47]，并根据输注速度等数据预估患者可能得疼痛级别、焦虑和不愉快的程度，为疼痛管理带来新思路。多数孩子在术前开放静脉时，都会经历恐惧。一项共有220名患儿参与的研究表明^[48]，对需术前开放静脉通路的儿童应用VR，对比接受标准程序化护理的患儿，评估VR应用于儿童的临床效果，结果证明VR组的患者、父母与操作医生的满意度评分中位数为5（5-完全满意），提示VR改善了诊疗体验。

实现术前三维虚像方案模拟场景所需的技术，主要包括

无线局域网、物联网、VR、MR、3D 建模技术等。

表 6 术前三维虚像方案模拟场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
N1-无线局域网技术	院内设备的接入与互联互通。
N2-物联网技术	采集床旁设备、可穿戴设备上的数据，用于设备互联互通，并将其积累用作虚像建模。
V3-VR 技术	用来构建虚拟空间中人体、器官的虚像，为手术规划提供更全面的参数。
V5-MR 技术	建立虚拟人体、器官虚像，为手术规划提供更全面的参数。
E2-3D 建模技术	

3.2.2 术前三维虚像患者教育

在手术当天与患者会面时，患者的焦虑通常是显而易见的，尤其在他们亲历第一次手术时。在手术前的几天和几周内，手术当天的“未知感”给患者带来了沉重的心理负担。术前患教的目的是减轻患者心理负担，同时提高对手术的配合程度和顺应性，但是传统的术前患教面临诸多挑战，表现在专业性过强导致患者难以听懂、缺乏可视化演示导致患者不能理解，反而加重心理负担等。借助元宇宙相关技术，有可能对上述挑战带来改善。

术前三维虚像患者教育，是指面对患者和患者家属，用虚拟空间中呈现出的“虚像”动态演练手术全过程，开展患者教育，便于患者和家属的理解，消解其恐惧、疑虑等心理，提高顺应性。术前三维虚像患者教育可以通过让患者提前熟

悉医院手术室的布局、模拟演示手术方案来帮助减轻患者可能产生的恐惧。此外，在术前患者教育交流中为患者提供自己的数字人虚拟化身，可以在“演练”期间与其他医护人员互动，他们可以向医生提问，这将提供更身临其境的体验，并可能为他们的手术日提供一些熟悉感。

对于心脏病手术患者，由于心脏结构复杂且手术术式多样，仅通过图表和对话的患教方式可能很难理解手术方案。使用心脏瓣膜 AI 分析软件 CardioVerse 开展患者教育^[49]，通过 3D 简单的动画演示和 VR 设备观摩，患者可以真正看到并找出他们有什么样的心脏问题，从而了解疾病的基本情况，理解并区分手术干预与介入治疗的差异，充分参与到治疗决策中。

围手术期焦虑是接受全身麻醉手术的主要负担。一项随机对照试验^[50]评估了使用 VR 开展虚拟手术室参观是否有助于减轻患者在手术当天的焦虑。他们为 84 名患者提供了 Oculus 头戴式设备，通过设备开展虚拟手术室参观。尽管患者术前 VORT 与标准手术准备程序的围手术状态焦虑差异无统计学意义。但是患者对开展虚拟手术室参观活动的总体评价是积极的；满足了患者对信息知晓的需求并减少了不确定性，并为他们的手术日提供一些熟悉感。

实现术前三维虚像患者教育场景应用的元宇宙关键技术主要包括 VR、AR、MR 技术等。

表 7 术前三维虚像患者教育场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
V3-VR 技术	用来构建虚拟空间中人体、器官的虚像，便于为
V4-AR 技术	患者提供立体化、可视化、动态化、精细化演示，
V5-MR 技术	便于其理解手术方案。

3.2.3 术中三维虚像辅助

术中三维虚像辅助是指在手术过程中，通过对医生术野中的器官、组织虚像上叠加其他虚拟元素，构建三维动态立体的影像辅助医生术中决策。例如：将器官或病灶的虚像浮空投影，便于医生观察其内部动态运动情况。又如在器官上浮空投影出生理、病理参数，直观显示器官的大小、重量、面积等数值，便于医生掌握更多手术所需信息。再如在病灶虚像上叠加物理手术工具的虚像，医生可在空间中开展虚拟测量，减少了实物测量带来的感染风险。在脊柱手术领域^[51]，美国芝加哥医疗创新技术公司 Augmedics 的 Xvision 手术导航系统是第一个用于脊柱外科手术的增强现实导航和操作指导系统，仅由可穿戴式外科医生 AR 头显设备和浮空投影标记物系统组成。这种系统不仅减少了脊柱外科手术中 X 光辐射，还使外科医生在做手术期间可以直接通过 AR 眼镜实时透视肉眼捕捉不到的细节，目前已通过美国 FDA 审批。Xvision 可以用于颈部、胸部、腰部、骶部和髌骨部的开放式和经皮式脊柱手术，包括脊柱减压、脊柱融合、椎间盘切除、椎板切除、椎弓根钉固定等，并可以与任何脊柱椎弓根

螺钉植入物和大部分手术中使用的 CT 扫描仪兼容，具有较强的兼容性。2020 年 6 月 8 日，Xvision 脊柱外科手术增强现实导航系统首次成功应用在约翰霍普金斯医院开展的一项脊柱融合手术中。截至目前 XVivision 已用于治疗 4,500 多名患者，并在美国 21 个州植入了 25,000 多个椎弓根螺钉，椎弓根螺钉放置的准确率为 97%-100%^[52]。此外，约翰霍普金斯大学的神经外科医生还使用 Xvision 从患者的脊柱上成功切除过癌性肿瘤。

在泌尿外科，机器人辅助肾部分切除术或机器人辅助根治性前列腺切除术等手术中，能通过对前列腺或肾脏的三维立体建模为手术机器人提供导航，从而准确判断手术切缘，避免扩大切割范围^[53]。此外，还可通过虚空投影，指示出组织器官脆弱结构的位置来帮助手术医生最大限度地降低并发症的风险。在心血管介入外科，目前已有 CardioVerse（心脏瓣膜分析系统）用于辅导“经导管主动脉瓣置换术”的案例，在手术时开展实时引导，实现更准确的操作，避免伤害病灶周边组织，保障瓣膜的高精准植入。

实现术中三维虚像辅助场景所需的技术，主要包括 3D 建模技术、VR、AR、MR 技术、动作捕捉技术等。

表 8 术中三维虚像辅助场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
E2-3D 建模技术	通过建模将立体的虚像投影到医生眼前。
V3-VR 技术	可在医生看到的术野上浮空投影，叠加多种医学

V4-AR 技术	影像、投射器官、组织的生理参数。还可生成虚
V5-MR 技术	拟的测量工具影像，让医生测量术野中的器官、 组织和病灶大小。
S3-动作捕捉技术	通过动作捕捉可记录医生的操作动作数据，用于 训练模型。

3.3 元病房场景：线上线下融合的疗愈空间

“病房”作为患者接受护理、完成治疗、居住生活的重要空间场所，对患者的康复具有重要影响，也是彰显医院诊疗技术、护理水平和人文关怀的地方。随着医学学科的发展，病房的种类逐步细化，除了普通住院病房外，重症监护病房、新生儿病房、研究型病房等具有不同功能定位的病房逐渐分化，目的是给不同患者提供更为专业的医疗及照护空间。当前，病房在改善患者护理、治疗、居住方面仍旧面临问题挑战，表现为：患者觉得照护服务不够精细、服务主动性不足、居住舒适程度和心理关怀不足。病房医护则觉得日常照护压力较大、稍有不慎就容易造成医患关系紧张。通过元宇宙相关技术赋能下的元病房，有望对上述问题带来改善。

元病房，指的是通过数字孪生等元宇宙相关技术，将病区和病房内的物理空间参数、设施设备参数、人员活动轨迹，甚至患者的生理体征参数、床旁检验检查结果以及照顾、输液等治疗操作过程数据全部映射到线上虚拟空间，通过接入设备，将身处异地的医生、护士、患者、家属带入到线上虚

拟病房中，并在其中开展照护、治疗、交流等互动，实时了解患者信息。

3.3.1 元病房数字孪生

通过构建病房的数字孪生影像，将病房内人员、环境、陈设物品信息映射到线上，让医护人员通过手机、平板、头显等设备接入元病房空间，直接看到内部患者数量、每个患者的生理参数、病房内温湿度、光照等环境参数、患者体征预警告警数值等。医护人员无需进入病房空间，即可一览病房内所有信息。从而为病人用户提供多项反馈信息的选择，便于医护人员对病人需求信息进行及时的了解处理，为病人提供更加人性化的服务，有利于提高医患关系。

元病房数字孪生场景主要使用的元宇宙关键技术包括物联网、高性能计算、数字孪生技术、BIM 技术、GIS 技术等。

表 9 元病房数字孪生场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
N2-物联网技术	对部署在病房内的患者监护设备、环境传感器中的数据集中传输给数字孪生或 BIM 建模平台。
C4-高性能计算技术	对采集、传输、汇聚的信息进行高效计算。
S1-传感技术	穿戴在患者身上、部署在床旁周围、病房内环境里的传感器，采集患者和病房内环境信息。
E1-数字孪生技术 E7-BIM 技术	将线下病房内人员、环境、物品陈设一对一映射线上，构建出实时同步的虚拟病房空间。
E8-GIS 技术	提供对病房内物品的定位信息。
I1-深度学习技术 I2-大模型技术	基于高性能计算技术和数据，预测病房内患者的疾病进展、药物响应、生存预后等临床重要指标。

3.3.2 VR 远程探视

通过 VR 眼镜、手机 APP 和 5G 网络，家属或医生可以身在异地，而以第一视角探视病房中的患者。还能实现探视者与患者实时双向互动沟通，实现身临患者床边的沉浸式沟通交流。VR 远程探视既能有助于缓解家属的心理焦虑；又可以减少接触带来的感染风险；还能缓解病人因家属不便长期陪伴，造成孤独无助的心理困境等问题。目前远程探视较为成熟，国内多家医院都有应用，具体场景包括远程重症监护病房探视、远程隔离病房探视、远程新生儿病房探视^[54]。

VR 远程探视场景主要使用的元宇宙关键技术包括 5G-A、边缘计算、全景摄像技术，边缘计算技术等。

表 10 VR 远程探视场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
N3-5G-A 技术	让病房内场景图像远传到用户 VR 眼镜里，从而呈现在用户眼前。
C1-边缘计算技术	过在医院机房下沉 5G 医疗边缘计算设备和医疗边缘云，可以实现摄像捕捉的影像数据的本地回环，保障数据安全，同时也提高了数据处理的效率。
V1-全息影像技术	在病房内安装 360 度全景相机，捕捉病房内的画面并进行拼接，从而形成屋内全景。这些相机通常具有高清分辨率，可形成 8K 画质。屋内全景将存在边缘云上。
V3-VR 技术	用户通过 VR 眼镜进入投射到云端的屋内全景影像中，能切换角度观看屋内任意角落。

3.3.3 数字化身匿名交流

医患交流和患者之间的交流是病房中常见的场景，但是患者可能出于隐私保护等心理，不愿意将自己的形象暴露展现到医生或其他患者面前，特别是在讨论隐疾的时候。针对此种情况患者可以通过创建“数字化身”（又叫数字人）掩盖隐私，隐去不愿意暴露和展示的部分。

病房中的患者往往希望能与病友交流分享并获得治疗经验，以及心理上的共情，但是又担心自己的隐私被暴露，或者想以一个健康的形象与外界沟通。Facebook 的 Metaverse 平台可以为患者小组交流和点对点咨询提供平台，能让患者以数字化身的形象与经历过类似疾病的其他人建立联系并获得情感支持。国内也已经开始类似的研究。中山大学中山眼科中心研究团队研制出首个“Digital Mask”（数字面罩），让匿名就医成为现实。该技术通过三维建模，可将拍下来的面部图像转换成 3D 形式，使得患者面部可自动生成虚拟面容，在保留疾病面部特征的同时抹去个人信息。团队测试了常见的 4 种眼病，包括上睑下垂、眼球震颤、斜视和甲状腺相关眼眶病，涉及十多种异常行为表型，例如眼睑回缩、眼球运动亢进或不足等。来自中山眼科中心 4 个专科的 12 名专家教授，分别对使用“Digital Mask”和未使用“Digital Mask”的病人进行疾病诊断，结果显示即便面容进行了遮掩，但诊断结果与不遮掩时一致^{[55][56]}。

数字化身匿名交流场景主要使用的元宇宙关键技术是数字人构建相关技术包括实时渲染技术、动画解算技术、交互技术、BIM 技术、GIS 技术等。

表 11 数字化身匿名交流场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
M6-实时渲染技术	可使虚拟空间中的虚拟物品、数字人看起来更加逼真，使得用户可以立即看到渲染结果。
M7-动画解算技术	可使数字人的面部表情和动作行为看起来更加生动，确保数字化动作的流畅性和准确性。
E7-BIM 技术 E8-GIS 技术 E1-数字孪生技术	构建虚拟病房空间，以便于容纳数字人在空间中的活动。
P2-区块链技术	记录数字人的言行，用于虚拟空间管理的回放追溯。

3.3.4 增强虚拟护理

护理场景的地点往往相对分散。例如：院内病房护理、社区与居家护理、养老院等康养照护机构护理等。而且护理人员的专业背景参差不齐。居家护理可能完全由亲属承担，专业程度严重不足。上述这些情况为护理质量的一致性带来挑战。

增强虚拟护理突破传统的远程问诊与咨询，通过使用虚拟现实远程全息传送通讯技术（holoportation）^[57]，将医患双方带入同一虚拟空间，医生通过沉浸式设备可以直观看到患者居家的生活情况、随访获得的参数、居家可穿戴设备上采集的参数，与患者家属、院外护理人员远距离沟通，实现对院外护理的专业指导，让患者获得与院内同水平护理服

务，减少了出行不便和交叉感染的风险，同时增加了医疗服务的可达性和便捷性。增强虚拟护理是元病房功能向院外、社区、康养机构和家庭的延伸。

目前，全国首个 AR“网约护士”平台在佛山市上线，将 AR 融入“网约护士”上门护理的装备中。护士每次外出都会背着一个黑色的背包，里面有 AR/AI 可穿戴智能记录仪，该设备具备人脸识别、语音指令控制、通过浮空投影将指导意见悬浮在护士眼前，实时远程医学指导等功能，协助护士在外出单独执行上门任务时能更高效、专业。设备还可在保护用户隐私的前提下，记录上门服务全过程，同时保障护士的安全。在国外，东京大学老年护理与伤口护理管理系探索将 AR 引入远程居家伤口护理。该系统将透明的手势虚像与患者伤口图像相结合，并在现有的远程会诊软件中以视频图像的形式输出。使用 AR 的家庭护理护士可有效查看伤口护理的精确示范并提供有效的治疗，提高了家庭护理护士现场技术操作的效率。

虚拟增强护理场景所需的元宇宙关键技术主要包括 3D 建模技术、动作捕捉技术、VR 技术、力反馈技术等。

表 12 虚拟增强护理场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
E2-3D 建模技术	将医生的形象转换为高精度的全息影像。
E1-数字孪生技术	
S3-动作捕捉技术	将医生的动作实时转换为高精度的全息影像。
V3-VR 技术	护理过程中看到患者及周边环境。

3.2.5 虚拟康复训练

虚拟康复训练是指用元宇宙相关技术构建一个虚拟康复训练空间，患者可以在其中体验模拟现实世界活动和环境，使他们能够恢复生理功能、行为能力，以及助力心理健康的恢复。通过构建康复运动所需的虚拟运动空间并将医患带入，可在虚拟环境中训练和观察患者康复锻炼的一举一动，既能减少对物理康复场地场所的占用，解决医院康复场地空间不足的问题，又能让患者足不出户就近远程参加康复训练，提供隐私空间，还能实现对患者的精细化指导，并获得量化反馈。

已有部分案例披露其用于对脑卒中、帕金森及其他脑部疾病手术导致的运动功能受损的康复训练^[58]，训练患者肢体运动机能，促进肢体功能恢复。例如虚拟盒块任务（Blocks and Box Task）评估脑卒中患者的精细运动功能^[59]。通过采集交互过程的运动学和动力学参数，量化表征他们的抓握、搬运和避障等能力。结果表明该项技术的临床有效性、可靠性和功能障碍的识别准确性均显著高于传统脑卒中患者的上肢功能评估效果。内在动机调查表明，脑卒中患者更倾向于使用虚拟现实系统而非传统工具，进行上肢运动功能评估。除了脑部疾病外，美国对妇产科手术后用 VR 进行盆底肌肉

功能锻炼，恢复盆底肌的力量^{[60][61]}。对于骨科手术后患者、截肢患者来说，再开展虚拟康复训练前还需要先进行特色训练才能适应佩戴的外骨骼或假肢。目前也已有嵌入在外骨骼或假肢中的摩擦电双向传感器监测多维运动，例如旋转、扭转等。将外骨骼或假肢与虚拟空间中的患者数字化身相连，实现与虚拟物体互动，提高康复效率并实现远程康复训练。除了肢体康复训练外，在心理创伤与心理疾病康复领域，虚拟康复训练场景同样重要并已有实践案例。例如，国外术后盆底肌虚拟康复训练用于缓解泌尿外科术后尿失禁和勃起功能障碍患者的尿控能力，同时也解决患者心理困扰和焦虑，提高患者对心理压力和焦虑的管理能力。国内上海市精神卫生中心研制了“特定恐惧心理康复训练软件”，目前主要通过构建 VR 虚拟环境用于恐高症的康复训练。该软件获得了中国首张特定恐惧心理康复训练软件医疗器械注册许可证。

虚拟康复训练场景所需的元宇宙关键技术主要包括 VR、AR、MR 技术、动作捕捉技术、空间音频技术、手势与眼动追踪技术等。

表 13 虚拟康复训练场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
V3-VR 技术 V4-AR 技术 V5-MR 技术	用来构建虚拟空间中康复场地、康复用设备、康复用器械的虚像，还可将康复师的要求以文字以“浮空投影”的形式投射到患者眼前。实时渲染技术，可使虚拟空间中生成的虚拟物品、周围环境看起来更加逼真、细腻。通过力反馈技术，让患者能在虚拟空间中体验到持握和操作康复设

	备、康复器械的感受。
S3-动作捕捉技术	追踪患者或物体的运动来记录其位置和动作信息,从而精准定位患者做出的康复动作是否到位,从而让力反馈更加精准。
S6-空间音频技术	患者可听到定向发送到耳边的康复训练动作的指令声音,更有节奏地开展训练。还可以模拟患者操作器械时发出的声音(例如虚拟拳击训练,打中虚拟沙袋的撞击声)。
S4-手势与眼动追踪技术	借助手势追踪、动眼追踪来实现患者对虚拟器械和设备的交互与控制。

3.3.6 虚拟智能随访

传统的随访医生和患者之间通常以面对面交流访问、电话随访、短信随访、邮件随访、视频随访等形式。在未来的元医院中,康复治疗和智能随访场景结合了虚拟现实技术、人工智能和医疗康复理念,通过元病房构建的线上虚拟空间,将病房的物理范围向院外延伸,收集患者居家监护数据,并通过虚拟家庭医生、真人医生以及其数字化身为患者提供护理建议,从而实现为患者提供了更加个性化、便捷和高效的随访服务,以评估疾病康复进展并讨论检查结果。

元病房可以提供覆盖到家的智能随访服务。元病房是集合增强现实(AR)、虚拟现实(VR)、社交媒体等多种技术,构建的虚拟空间,将病房的物理范围进行了延伸,可以覆盖到院外,并为智能随访(即健康管理、疾病跟踪等)提供了全新的可能性。元病房智能随访场景可以是患者在虚拟世界中与医疗专业人员进行床旁会诊和治疗计划制定的过程。患

者可以在这个虚拟环境中与医生进行面对面的交流，医生可以通过头戴式显示器或虚拟现实眼镜与患者进行交互。目前希腊伊拉克利翁大学医院（University Hospital of Heraklion）和瑞士洛桑大学医院（Lausanne University Hospital）已有合作案例验证了使用 Metaverse 平台对血管痉挛性心绞痛患者远程随访的可行性^[62]。具体方法是在 Metaverse 平台中创建结合 AR/VR 的数字随访空间。为患者和心脏病专家提供了一个安全的个人登录账户。互动和联系是通过虚拟化身进行的。指示患者在出现任何与心脏相关的症状时发起问诊。患者配备了先前经过验证的便携式医疗级 12 导联智能心电图设备，该设备直接集成到 Metaverse 平台以及患者的手机。该平台已经跟踪并成功救治了一名 30 岁的肥胖吸烟患者，其因在家休息时发生心脏性胸痛而发起问诊。他登录联系心脏病专家的虚拟随访空间，该空间里收集了发作时候的病历以及患者自动记录的心电图。尽管临床和心电图数据令人放心，但医生建议来院就医。医院检查与虚拟随访中提供的诊断一致。

虚拟家庭医生健康管理是元病房院外随访场景的延伸。

在元服务的创新生态系统中，患者虚拟健康数字人和虚拟家庭医生搭建起了家庭医生与患者之间无界交流的桥梁，使家庭医生健康管理服务突破物理空间的束缚，与患者在元医院虚拟空间中进行签约服务、健康评估、慢病管理、转诊预约、

报告解读、健康干预等多样化健康管理服务。元服务的虚拟家庭医生能够精准模拟个体健康状况，针对体检发现的脏器健康隐患进行深度分析，利用复杂算法推演状态的动态变化轨迹或潜在疾病的发展模式，预测未来风险，进而为患者量身打造定制化的健康改善计划。患者无需亲身造访医疗机构，即可通过其数字分身享受全天候健康管理服务。

智能随访场景中主要应用到的元宇宙关键技术有：物联网技术、传感技术、力反馈技术、动作捕捉技术等。

表 14 智能随访场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
N2-物联网技术	通过传感器、射频识别技术（RFID）、全球定位系统（GPS）等将信息传感设备与网络相连接，实现物体之间的信息交换和通信。通过物联网技术，结合智能可穿戴设备实现智能化的识别、定位、跟踪和监管，为智能随访提供技术支撑。
S1-传感技术	传感器等设备能够感知周围环境中的各种物理量、化学量或生物量，并将这些模拟信号转化为数字信号，以供中央处理器处理。处理后的结果数据可以被显示出来或者用于进一步的分析和应用。对于远程随访意义重大。
S2-力反馈技术	是一种允许用户感受到虚拟环境中物体或表面的触感和压力的技术。它通过使用特制的设备，如带有传感器的手套或操纵杆，将物理力量传递回给用户，从而模拟真实世界中的触觉体验。
S3-动作捕捉技术	通过追踪人物或物体的运动来记录其位置和动作，这些数据随后可以被用来控制计算机生成的图像（CGI）角色或模型，使它们能够以极其逼真的方式移动和表

现，可捕捉随访患者日常动作和姿态。

3.3.7 床位智能调度

元医院内的“床位智能调度”主要指通过利用数字孪生、GIS、BIM、AR 等技术，将医院内的各个区域进行三维建模，将院内实时的患者接收/出院情况、床位占用情况和床位使用需求量化、可视化显示在三维模型上，为管理者提供全院全局视角与实时调度策略，从而实现实时的人员床位智能调度。人员床位智能调度的实现依赖遍布于元医院病房、高密度人流区域的传感器和智能设备，可实时采集院内各个区域的患者密度、出入院情况、床位空闲与占用情况等关键数据，并导入到数据分析平台，运用机器学习算法对采集到的数据进行深度挖掘与模式识别，归纳实体医院人员流动的内在规律和床位使用趋势走向，从而构建高度精准的人员床位智能调度模型，科学预测未来一段时间内医院内部的人流量分布与床位需求变化，为管理者决策提供有力的数据支撑。

床位智能调度场景所需的元宇宙关键技术主要包括传感技术、VR 技术、AR 技术，深度学习技术、GIS 定位技术、BIM 技术等。

表 15 床位智能调度场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
S1-传感技术	部署在床位、住院患者手环上，可获知床位、住院患者的移动。
V3-VR 技术	让管理者看到房间内床位布局。
V4-AR 技术	将实时的人员流动情况、床位占用情况和床位使用需求等数据投影显示在三维模型上。

I1-深度学习技术	挖掘医院人员流动的内在规律和床位使用趋势走向,预测医院内部的人流量分布与床位需求变化。
E1-数字孪生技术	侧重于对物理对象的全面监控、仿真和模拟预测,用来实现病房内陈设和人员的虚拟映射。
E8-GIS 技术	用来定位患者位置和病房的床位。
E7-BIM 技术	侧重于创建建筑物的数字化虚像,用来实现楼宇、病房空间的虚拟映射。

3.4 元科研场景：仿真的智慧实验空间

“医学研究”是复杂而漫长的过程。当前医学科研存在诸多挑战，导致新医疗产品（包括新药和新器械）、新的诊疗方案的研发效率低、研发周期长，不能尽早大范围用于临床患者。例如临床试验存在对患者的招募和管理、涉及对动物的饲养和病理模型建造，然而一些疾病存在患者数量不足难以足量招募、动物模型较难构建等风险，会带来试验进度延迟、周期拉长、成本投入高，最终阻碍患者获得新的治疗产品和治疗方案。

为了解决上述问题，国内外不少医院和科技公司试图将元宇宙相关技术用于科研。元科研指的是，用元宇宙相关技术构建虚拟的研究场景、仿真模拟研究对象（包括虚拟组织器官模型、动物模型、药物分子模型等），目的是减少科研过程中对所需真实的受试者、动物、试剂的消耗；降低对参与临床试验受试者的伤害；减少科研成本、缩短科研周期；加强科研人员彼此间的协作，最终实现医学科研高质、高产、高效。

3.4.1 仿真模拟临床试验

通过元宇宙相关技术，模拟仿真临床实际诊疗环境，将新研发的医疗器械纳入其中，观察其在模拟仿真的临床诊疗环境中工作情况，从而为评估新医疗器械的功能、性能及安

全性。医疗器械研发人员可以在指定上下文中使用合格的工具来支持其产品的上市前审查。仿真临床试验旨在减少动物试验或降低所需的患者检测数量，同时确保设备的安全性和功效。

美国 FDA 是第一个探索使用模拟临床试验验证有源医疗器械的监管机构。FDA 发布了一份关于“评估医疗器械提交中计算建模和仿真的可信度”（Assessing the Credibility of Computational Modeling and Simulation in Medical Device Submissions）的指南草案，此外还启动了“医疗器械开发工具”（Medical Device Development Tools, MDDT）计划。在该计划中 FDA 评审团队模拟了用于监管及评估新医疗器械的“虚拟成像临床试验（VICTRE）”研究^[63]，创建了 2,986 名计算机模拟受试者，用以评估一种新的医疗设备“数字乳腺断层合成（Digital Breast Tomosynthesis, 简称 DBT）”进行乳腺癌筛查的功能和性能，以判断其产生的三维影像是否可以作为“传统的二维全乳 X 射线摄影”——即常规的乳腺 X 线检查或称为乳房钼靶摄影医疗设备的替代品。为验证新研发的 DBT 医疗设备，FDA 对整个成像数据链进行了模拟和验证，分别创建了患有和不患有乳腺癌的虚拟患者，并进行了二维和三维 X 射线乳腺图像采集和图像分析过程。在 VICTRE 试验中，DBT 对乳腺病变可检出率增加，且与使用人类患者和放射科医生的比较试验的结果一致。该研究表明，

模拟临床试验工具可能是成像设备监管评估的可行证据来源。该试验结果将在 DBT 设备的上市申请中提交给 FDA。

另一个例子是世界最大的工业软件提供商法国达索系统公司（Dassault Systèmes）的“活体心脏项目”（Living Heart）^[64]。该公司开发了一个名为 3D EXPERIENCE 的平台以提高心血管疾病与医疗设备的监管审批效率。该平台可基于对人类心脏组织、结构和电生理学的理解，虚拟仿真出 3D 心脏模型（见图 8-图 9），并完全适应模仿个人或人群。这种虚拟医学参考有助于了解心脏结构和血流动力学心脏病；并测试心血管医疗设备在仿真心脏上的工作情况，作为新型心血管设备审批的证据来源，因此虚拟仿真心脏有可能改变新医疗设备的测试验证和审批方式。

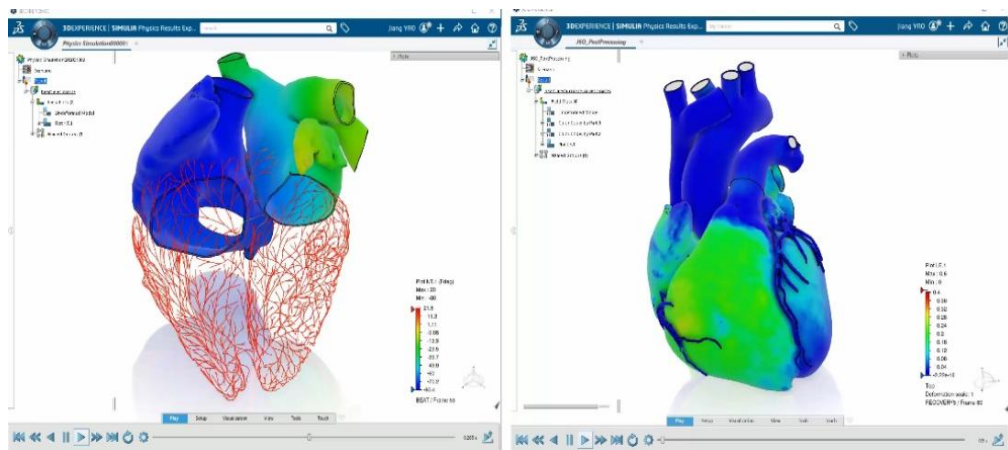


图 8 PC 端视角下的活体心脏模拟用于测试新医疗设备
来源：图片来自达索系统公司官网 3D EXPERIENCE 平台介绍

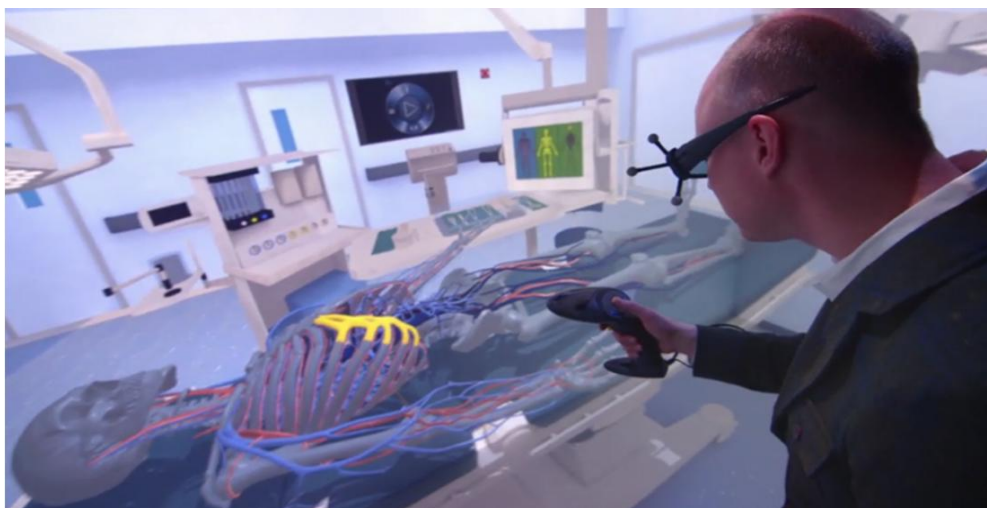


图 9 VR 眼镜视角下的活体心脏模拟用于测试新医疗设备
来源：图片来自达索系统公司官网 3D EXPERIENCE 平台介绍

仿真模拟临床试验场景使用的元宇宙关键技术主要包括：VR、AR、MR 技术，数据驱动混合建模技术、3D 建模技术、云化建模仿真技术，等各类建模和仿真技术，手势与眼动追踪技术，力反馈技术。

表 16 仿真模拟临床试验场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
V3-VR 技术 V4-AR 技术 V5-MR 技术	在虚拟空间中生成组织、器官的虚像，为待测试验证的医疗器械、药物提供试验用的客体对象。
E-各类建模和仿真技术	数据驱动混合建模技术、3D 建模技术、云化建模仿真技术，等各类建模和仿真技术用来模拟试验客体对象的生理或病理现象（例如模拟心跳、血液流淌）。
S4-手势与眼动追踪技术	感应用户的手势动作、眼睛动作，来实现与组织、器官虚像的交互控制，便于科研人员、药监部门评审人员从任意角度操作虚像，对试验效果进行细致观察。
S2-力反馈技术	用来提供对虚拟空间中生成组织、器官的虚像触觉反馈，便于科研人员、药监部门评审人员真实体验试验过程。

3.4.2 药物研发虚拟辅助

通过元宇宙相关技术，将复杂化学分子的结构可视化，即在交互式 VR 平台上把微观层面的分子结构样貌及其运动状态微观结构呈现在眼前，且精度超过二维模型。此外，研究人员无需学习操作全新的软件程序，取而代之的是几个简单的手势。交互式 VR 让新药发现能“看得见、摸得着”。

交互式 VR 其使用多模态数据源（包括核磁共振、分子动力学和其他 3D 分子数据源）可视化药物分子。在虚拟世界中，研究人员能够近距离地亲眼观察他们设计的药物分子结构，而且可以用手触碰悬浮在他们眼前的虚拟分子，跟分子结构“互动”，以查看更多结构细节。通过分子可视化 VR 工具，再结合其采集的关于每种分子及其结构的详细信息，可缩小科研人员在药物发现过程中的误差，也就是在药物进行人体试验之前的临床前实验阶段尽可能地减少误差。

Nanome 是第一家推出交互式 VR 用于药物设计的公司。跨国制药巨头诺华制药公司已经认识到交互式 VR 在早期药物研究中的潜力。诺华的科学家们可利用 Nanome 交互式 VR 来研究对抗 COVID-19 的潜在药物的结构洞察力^[65]。其他的美国生物技术公司诸如 Nimbus Therapeutics、Roivant Sciences 的药物发现部门 Roivant Discovery，也部署了 Nanome 用于药物发现。美国各地的几十位科学家可以协同修改和处理分子数据，最终加快药物发现过程。其他成熟的分

子可视化交互式 VR 工具还有 C4X Discovery 公司（C4XD）的 4Sight^[66]。该平台已经辅助科研人员研发与癌症、慢性成瘾、呼吸系统疾病、帕金森、免疫及炎症等疾病新药。

药物研发虚拟辅助场景用到的元宇宙关键技术包括 VR、AR、MR 技术、手势与眼动追踪技术。

表 17 药物研发虚拟辅助场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
V3-VR 技术 V4-AR 技术 V5-MR 技术	可基于化学数据，在虚拟空间中生成立体的化学分子结构。
S4-手势与眼动追踪技术	感应用户的手势动作、眼睛动作，来实现与虚拟分子影像的交互控制，便于科研人员从任意角度操作分子影像进行细致观察。

3.4.3 元科研数字人模型

疾病由于存在病理复杂、疾病机制异质性强，而导致具体到每个患者或每个疾病亚型的数据十分复杂，难以认清疾病具体对每个患者的发生发展过程，以及药物对个体的作用机理。这就需以认知疾病为目标的“计算医学”，解决疾病和药物机理认知不清的系统性问题。

通过传感器等设备对人体进行精准测量，利用数字化技术在虚拟世界中为每个人精准打造独特的医学数字孪生个体数字人模型。该模型可实现从人体整体层面、系统层面、器官层面、细胞层面、分子层面实现对应的数字孪生映射。用于元科研的患者数字人模型，综合了生物力学、能量代谢和生理生化相关技术，并可通过人工智能技术模拟个体在多

种生活或试验条件下的生理反应。例如：环境变化、运动习惯、饮食习惯、药物及手术干预等。未来，元科研患者数字人模型以及对应的电子药物（即药物的数字孪生体）可用于真实的药物研发，促进精准用药、生产质控、药物重定位、靶点发现、药物组合、虚拟临床试验、分子发现和定量药理等领域的发展。目前已有通过数字孪生技术、高性能计算技术建立患者的数字人模型，并在该数字人模型上开展肿瘤药物临床试验的国内案例，通过利用医学影像、病理信息、多组学数据等，构建出肿瘤复杂病灶的数据孪生和药物的数字孪生，用以模拟病灶中不同细胞行为、药物与肿瘤细胞相互作用的过程等。目前已有相关科研案例^{[67][68]}。

元科研数字人场景用到的元宇宙关键技术包括：高性能计算、传感技术、数字孪生技术、深度学习技术。

表 18 元科研数字人场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
C4-高性能计算	利用高性能计算基础设施，可产出大量数字患者队列，进行多尺度复杂建模，以实现生理病理大规模模拟，最终建立超高保真度虚拟受试者的广泛数据库。
S1-传感技术	采集患者生理、病理躯体体征。
E1-数字孪生技术	用于构建数字人的宏观外表和内部生理、病理体征。
I1-深度学习技术	基于患者的数字孪生体，预测患者的疾病进展、药物响应、生存预后等临床重要指标。

当前元科研相较于元病房、元手术等其他场景，仍然处于非常初级阶段，面临很多待解决的问题。最关键的问题就是其模拟出来的临床试验场景、药物分子等能否真实反映现

实情况，包括虚拟影像的细节是否逼真、其运动状态是否与人体自然的生理、病理机制相一致、能否考虑到并模拟出真实世界所有可能的不确定因素等，上述这些将决定依靠元科研开展的临床试验和新药物研发能否真正有效。

3.5 元教学场景：沉浸式智能培训空间

“教学”是医院重要职能之一。在校医学生和低年资医生成长为经验丰富的成熟医生离不开专业的教学。然而医学教学具有对实践要求高、实操风险大、投入成本高、培养周期长等特点。现有医学教学往往依靠图书资料、视频观看、高年资医生或专家的演示等手段开展，存在**“教具实物稀缺、评价机制不准、练习场景不真”**等问题。特别是在需要动手操作的领域，例如手术麻醉、植介入操作、内镜检查、紧急救护、专业护理等，上述问题更为明显，影响相关领域医生成长速度。

元教学场景，是指通过运用 AR、VR、MR、数字孪生等元医院相关技术并与 AI 结合为培训开辟了新视角。通过“创建虚拟空间并通过设备将受训者带入进行模拟体验”。具体而言是“构建虚拟人体或三维立体的虚拟场景空间，并通过头显、眼镜、触觉手套等设备提供多感官反馈，让医学生和低年资医生进入其中进行角色扮演。受训者可与计算机生成患者“化身”、虚拟物体、虚拟景象互动，实现在无风险环境中开展学习。当前元教学场景还因受训对象、科室业务的不同而日益多元化、个性化。

3.5.1 生理结构及机理模拟教学

面向医学生的医学基础知识培训。可借助元宇宙相关技术开展生理解剖学基础培训。医学院的传统教学方法是使用解剖图谱教授解剖学。基于图片的教学让医学生在理解并记忆解剖学结构和位置的复杂性上带来挑战。特别是对于具有复杂结构的器官，以及器官所处的位置尤其困难。为解决上述挑战，Curiscope 公司推出用 Virtuali-Tee——“增强现实 T 恤”^[69]开展解剖学培训的 AR 应用。穿上它后可显示人体内部器官和骨骼，从而允许医学生像在解剖实验室里一样查看人体内部。可开展人体生理、病理机制模拟。对人体正常生理机制和病理机制的理解是医学生的重要培训内容。但是由于演变环节众多且在微观层面上不可见，医学生难以对抽象的过程予以理解。在虚拟空间中复现生理和病理微观层面的运动可帮助学生可视化直观理解复杂生理和疾病现象。例如采用“全息仿真技术 BRM 一体机”^[70]可展示香烟烟雾诱发肺癌的机理。学生可密切观察吸烟是如何一步步造成肺泡损伤，进而诱发肺癌的全过程。

生理结构及机理模拟教学场景应用的元宇宙关键技术主要包括：VR、AR、MR 技术、全息影像技术等。

表 19 生理结构及机理模拟教学场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
V3-VR 技术	在虚拟空间中生成动态的、虚拟的组织、器官、病灶虚像，让受训者通过头显设备更真切地观看。
V4-AR 技术	

可以在空中凭空创造肉眼能够直接看到的虚拟影像，让人产生多角度、全方位的 360° 立体视觉体验。

3.5.2 专业实操模拟教学

专业实操模拟教学，指的是利用虚实融合技术构建接受治疗的虚拟患者或在模拟人上面加载传感器，向受训者反馈虚拟患者或模拟人的生理、病理信息，构建虚拟的治疗空间、模拟治疗场景；同时通过传感器记录受训者的操作数据、将指导浮空投射到受训者眼前，从而让其体验诊疗过程，尽快积累诊疗经验。当前主要用于面向低年资医生和医学生的实操专业培训方面，提高医学生、低年资医生的临床实操类学习效率；解决实操类教学项目不能做、不敢做、不好做”问题，让受训者大胆试错、探索创新；尽可能减少未来临床实际诊疗中对真实患者的医疗伤害。

急诊医学是元宇宙相关技术教育工具的早期采用者，尤其是在心肺复苏操作培训方面，可模拟急救场景并在虚拟空间和人体模型上提供团队合作学习、急救决策、复苏操作等培训机会，帮助受训者适应各种紧急临床场景。**在护理和产科模拟教学方面**，使用 Autodesk Maya 软件和游戏开发平台 Unity^[71]，可帮助护理专业的学生在虚拟空间中练习患者导管插入术、探索如何在虚拟医院环境中做出护理的临床决策。

在脊椎手术教学方面，首尔一家医院研究团队与大学实验室合作开发了“基于增强现实技术的脊柱手术平台”^[72]。该平台使用可固定在人体结构上的椎弓根螺钉的实时投影作为增强现实的叠加图形。基于该平台可为受训者提供一个透明视角，模拟进入人体、模仿手术中与患者的接触，让学生像外科医生一样体验手术。在介入精神病学培训方面，AR 和 VR 有助于培训从业者使用非侵入性脑刺激技术，例如经颅直流电刺激（transcranial direct current stimulation, tDCS）或更高级形式的经颅磁刺激（Transcranial Magnetic Stimulation, TMS）。受训者使用 AR/VR 工具学习如何更精确地定位头部的无创神经调控设备；还可以通过生成绩效分析报告促进培训，从而为受训者提供反馈^[73]。在心血管介入培训方面，冠状动脉和心脏瓣膜的彩色虚拟解剖投影技术已经可以集成到元宇宙中，可让学生 360 度看到心血管系统全尺寸视图，以及指导学员操作冠状动脉血管成形术^[74]。在消化内镜培训方面，当内窥镜插入胃肠道模型时，计算机会生成消化道的模拟三维视图。内镜的力反馈模块将模拟胃肠壁被触摸时的阻力，从而提供手术过程的真实体验。目前可进行消化内镜常规检查、内镜下止血、内镜下闭合穿孔等操作训练。未来还可通过“内镜触觉手套”，提供镜体旋转的阻尼感、调节旋钮的反馈感，为内窥镜医生提供更逼真的进出镜体验^[75]。在眼科培训方面，EyeSi（VRMagic）、

MicroVisTouch、PixEye（SimEdgeSA）、EyeSI BIO^[76]等眼科专业模拟器相继诞生，允许受训者在虚拟空间中模拟常见的眼科手术，包括白内障手术、玻璃体和视网膜手术，及青光眼和角膜手术。还可模拟开展裂隙灯检查、直接检眼镜检查、间接检眼镜检查、验光等培训。

虽然元教学应用不断拓展，但也面临诸多挑战。包括无法模拟所有手术操作场景或治疗程序，特别内镜黏膜下切除术（EMR）、内镜黏膜下层剥离术（ESD）等更复杂的外科手术场景。配套的触觉手套传感器数量有限，不能复制精确感知；触觉手套上安装过多的传感器又会增加手套重量、成本和故障率。与线下传统教育方法相比，元教学产品评估功能和评估方法、工具缺失意味着无法确定技能习得的水平，导致元教学的实际有效性难以确定。

专业实操模拟教学场景应用的元宇宙关键技术主要包括 VR、AR、MR 技术，全景摄像技术、力反馈技术。

表 20 专业实操模拟教学场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
V3-VR 技术 V4-AR 技术 V5-MR 技术	在虚拟空间中生成动态的、虚拟的组织、器官、病灶虚像，让受训者更真切地观摩。此外还可提供手术操作指导信息的“浮空投影”，将指导信息投射到受训者眼前。
E9-全景摄像技术	能够捕捉手术室内场景图像并进行拼接，从而创建出手术室 360 度全方位图像，受训者可通过头显设备接入。
S2-力反馈技术	为实操提供触觉模拟和辅助，让受训者有更真切的体验。

3.6 元管理场景：虚实联动的运营管理空间

当前我国医院信息化与智慧化建设虽已取得显著进展，但仍然面临发展不均衡、不充分的问题，无疑成为了制约医疗服务水平与管理效率提升的关键瓶颈：一方面，传统医院运营管理往往忽视全生命周期视角，导致成本核算难以精准反映实时运营状况与经济效益，业财一体化进程有待深化。另一方面，繁琐的业务流程设计与落地执行中的低效环节，不经意间累积了可观的成本浪费，加之依赖人工或半自动化手段进行数据收集与分析具有滞后性，进一步阻碍了管理效能的释放。

在此背景下，通过构建一系列元医院运营管理场景，融入 5G 通讯、物联网、人工智能、数字孪生与三维可视化等元医院关键技术，将实际医院运营的复杂流程纳入一个高度集成、互动性强的数字化生态系统，实现从微观设备到宏观环境的全方位、全周期管控，开启医院运营管理新纪元^[77]。

元管理是指通过在元医院虚拟空间中复刻涵盖楼宇布局、医疗设备、物资供应链、安全监控、能源管理等多个方面的医院实体，实现对医院日常运营活动的全息模拟与深度整合，为管理者提供直观、动态的决策支持平台，在虚拟与现实的交织中，精准施策，优化资源配置，提升运营效率，助力医院实现精细化、数字化转型，还为提升医疗服务质量、增强

患者满意度以及推动医疗行业可持续发展提供了强大的技术支撑与创新路径。

3.6.1 数字孪生院区

元医院的数字孪生院区是一个集成前述元医院关键技术，与实体院区进行镜像同步的全方位智能生态系统，这一系统不仅是物理空间的数字化映射，精准复刻医院的建筑结构、科室布局等物理属性，且能够实时镜像反映医院运营动态。

数字孪生院区依托高精度 3D 建模和即时渲染技术，构建三维立体的医院数字模型，集成建筑结构、设施布局、运维数据等多维度信息，活灵活现地展现医院真实场景画面，小至内部建筑构造、通道布局，大到关键医疗设备的位置与状态，皆被细腻地建模呈现。其技术边界甚至可拓展至院墙之外，利用主题建模技术，将周边环境——包括道路网络、周边建筑、自然生态乃至地形地貌均纳入一个无缝衔接的三维视图中。数字孪生院区还可以借助可视化智慧管理平台，通过物联网实现物理世界与虚拟模型之间的数据交换与实时同步，对医院设备设施日常运行状况进行实时监督及高效管理，从医疗设备的工作效率、病患流动轨迹，到能源消耗、物资库存乃至人员工作安排，集成医院现有信息系统数据资源，使医院管理者能够从不同维度审视整个机构的运营管理情况，借助人工智能算法对海量数据进行分析、预测模拟及

智能决策支持，及时发现潜在的瓶颈和问题区域，实现精细化管理和动态优化。

数字孪生院区应用的元宇宙关键技术主要包括物联网技术、光网技术、高性能计算、智能计算技术、知识图谱技术、数字孪生技术、3D 建模技术、BIM、GIS 技术、深度学习和大模型技术等。

表 21 数字孪生院区应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
N2-物联网技术	实现院区内物品互联互通。
N4-千兆光网/万兆光网技术	实现所采集数据的高速率传输。
C4-高性能计算技术 C5-智能计算技术	实现对院区汇聚的数据实现计算。
K1-知识图谱技术	实现抽取管理相关知识，形成管理知识库。
E1-数字孪生技术	实现院区的数字孪生。
E2-3D 建模技术	实现对院区物品的立体建模。
E3-实时化仿真技术 E4-物理精准仿真技术	实现对院区运行实际情况的仿真。
E7-BIM 技术	实现院区建筑的线上映射。
E8-GIS 技术	实现院区中人和物的定位。
I1-深度学习技术 I2-大模型技术	实现对院区运营情况的智能化决策分析。

3.6.2 元医院指挥中心

元医院指挥中心是基于 BIM、GIS、AR 等技术深度融合打造的数字孪生沉浸式指挥中心，打破职能部门条线分割导致的信息孤岛和数据分散，将全院信息实时叠加到现实世界的视图中，不仅实现医院信息的实时可视化与互操作性，更

标志着医院管理从单纯的数据汇总展示，迈向了高度沉浸、互动式的全局一体化运营管理新时代。

借助元医院指挥中心的全景浏览功能，管理者可以鸟瞰医院的每一个角落，实时监控人流密度、设备使用情况、环境参数等关键指标，确保医院的顺畅运作与高效响应。同时，运用增强现实技术，将虚拟信息实时叠加到现实世界的视图中，管理者通过头戴式显示器、AR眼镜等设备，可在实际环境中直观查看与操作数字信息。管理者还可以通过直观的手势识别、语音命令等自然感知交互方式，直接下达指令、调配资源。当需要即时沟通时，该系统能够迅速对医院内部人员及外部机构启动对讲通话或高清视频会议，极大缩短了决策与行动之间的时间差，确保了紧急情况下的高效协同。约翰霍普金斯医院等国际知名医院建设了“容量管理型智慧指挥中心”^[78]，未来有可能升级虚实融合的元医院指挥中心，致力于使患者高效地在医院系统内流转，用有限资源容纳收治更多患者。当前的指挥中心内运营管理部门办公区采用环屏设计，数十块屏幕构建庞大的屏幕墙图块，直接与医院现有的信息系统相连，收集电子病历、疾病登记数据库、后勤系统等不同来源的数据。管理者通过可触摸电子屏操作着图块的实时展示。医院将自然语言处理和机器学习等技术整合到屏幕墙图块中实现预测分析。例如预测床位布局改变等每种措施对收治量和收治速度影响；预测疫情发生时患者来院

救治达峰值时需要的医疗资源，以更明智地选择优化举措。未来上述场景中的屏幕墙图块将会通过 AR 眼镜等头显设备虚空投影到管理者眼前，便于观察和调度。管理者也可以拖拉拽眼前的数据并进行浮空标记等操作，将指令传达出去。

元医院指挥中心场景应用的元宇宙关键技术包括 BIM、GIS、VR、AR、MR、深度学习、大模型技术等。

表 22 元医院指挥中心应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
E7-BIM 技术	实现院区物品互联互通。
E8-GIS 技术	实现院区中人和物的定位。还可以将运营管理中的问题进行空间定位，实现故障落实到物，责任落实到人。
V3-VR 技术 V4-AR 技术 V5-MR 技术	实现对运营管理数据的浮空投影和虚空标记，直接投射到管理者眼前。
I1-深度学习技术 I2-大模型技术	可根据管理者给出的指令和条件参数，对医院运营情况进行预测。

3.6.3 元医院人财物运营管理

“元医院人财物运营管理”指的是通过赋予医院人员唯一身份标识，将人员的岗位权责、绩效、定位、状态等信息与人员关联绑定并可视化标识，实现精准控制人员在元医院空间中的活动权限，精确绩效追踪及责任追溯；通过将物资赋码，并将其基本参数、定位、购置金额、运行及使用情况等信息与物资对应，作为可视化唯一标识，实现物资全生命周期的实时化监控与智能调度。元医院人财物运营管理模糊

了虚拟与现实的边界，以一种创新的管理模式，将管理对象和管理信息进行绑定和可视化呈现，从而实现更为准确的“责任落实到人、故障定位到物、资金监管到位”，有利于医院资源配置、人员绩效管理和业财一体化探索。

基于人员身份标识的人员管理。元医院超越传统物理界限的创新不仅局限于对实体结构的精准映射，更是在数字疆域深入探索了人员身份在数字领域的重塑与拓展，通过身份建模与解析技术构建元医院人员身份标识的“虚拟原生人”和“虚拟化身”两大核心概念，为元医院的人员身份标识体系注入生命力。“虚拟原生人”是一群专为执行医院内各种复杂任务而设计的 AI 实体，他们不与现实世界的任何个体存在映射关系，享有完全独立的存在与进化路径。这些集高效算法与深度学习能力于一身的智能体，能够自主处理从病患接待、智能问诊、导诊咨询、设备维护直至精密数据分析等一系列工作，成为驱动医院高效运转的核心数字驱动力。

“虚拟化身”则是基于现实世界人员的身份映射，在元医院中形成的数字化替身。每位医护人员、管理人员乃至患者，都能在元医院中拥有一个与之绑定的虚拟身份，这个身份不仅是线上交流与服务的门户，也是实现个性化健康管理、参与远程医疗活动的桥梁。为了保障安全与秩序，每个虚拟化身都会被赋予独一无二的数字人身份标识，并依托区块链等先进技术为每个虚拟化身分配唯一的、不可篡改的数字指纹，

强化身份验证唯一性与数据安全性。通过这一机制，元医院能够对人员进行线上统一管理，确保每一次互动、每一条信息均可追溯、可验证，为患者营造一个既开放又受保护的虚拟医疗环境^[79]。

虚拟资产管理。在元医院框架下，曾经以实物形态存在的部分固定资产，如院内房屋楼宇、公共设施、医疗装备、车辆等，通过数字孪生技术可创建出实体资产的精确虚拟副本，将实体资产转化为可以精准量化的虚拟资产，实现资产的数字化管理和优化配置，使资产评估、监控与交易突破了时空限制，变得更加灵活高效。同时还可创造出原来实体医院所没有的全新虚拟资产，例如：虚拟康复训练设备设施、虚拟数字人等。现实世界的实体资产与虚拟世界中的虚拟资产深度融合，将创造出一种复合型新型资产类别。这种资产不仅承载着经济价值，还蕴含着数据价值、服务价值甚至是文化价值。这些虚拟资产将连同实体资产一起将作为医院固定资产管理和财务管理的对象。这就要求医院传统的管理模式、规则乃至管理主体的角色与能力要求也随之发生根本性变化，过往的固定资产和财务管理模式、规则框架，乃至人员的技能配置与角色定位均将面临重塑^[80]。

沉浸式物资管理中心。元医院物资管理中心的沉浸式体验将赋予医院管理人员前所未有的临场感。通过数字孪生技术构建物资的虚拟模型，支持在虚拟空间中找到线下实体物

资每一动态的数字化镜像呈现，如物资当前位置、使用状态、规格详情等参数，实现现实物资状态与虚拟数据的准确映射。通过物联网、传感器和 RFID 标签等设备，实时收集物资的位置、状态等数据，为物资的数字化管理提供实时信息输入，将院内固定资产、各类耗材等实物物资封装成精细的数字资产，实现对每项物资从采购入库到消耗或报废退出的全生命周期精准跟踪与智能调控。物资管理中心不仅能够对物理资源的流动和使用情况进行实时监控，还能对设备维护保养、物资报废等环节进行细致的规划和控制，确保每一步操作都基于数据驱动与高效规划。物资的每一次变动都会触发即时的数据更新，确保财务记录与实物库存保持高度同步，实现真正的账实相符。借助元医院的虚拟现实管理界面，管理者可以直观地审视物资流转的每一个细节，甚至预判物资需求趋势，以此为基础来优化库存结构，避免过剩与短缺并存的现象，极大提升了医院运营管理的精益化程度与整体效率。

元医院人财物运营管理场景用到的元宇宙关键技术包括：物联网技术、区块链技术、数字孪生技术等。

表 23 元医院人财物运营管理场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
N2-物联网技术	将医院范围内一切实体物品通过 RFID 标签等方式接入物联网，通过无线射频信号进行非接触式数据通信，实现对物体的自动识别和信息交换。
P2-区块链技术	提高虚拟资产的交易安全性，保障所有权和交易记录的可信性，优化财务管理流程，实现虚拟资产担保，构建信任体系促进虚拟财产的合法化和规范化。

对医院每个物资映射一个虚拟副本，对存放物资的空间内外部环境以及结构进行真实复现，提供丰富的可视化手段，可对物资的存放方式、存放区域、温湿度、环卫、库存容量等信息进行标注，并可在头显设备中浮空显示。

3.6.4 元医院后勤综合管理

元医院后勤综合管理集成了大型医疗设备管理、安保消防监控、后勤物业管理及能耗监测等工作领域。在大型医疗设备管理中，支持重要设备实时数据与状态通过传感器网络上传至云端，不仅实现设备运行的远程监控与智能化运维，还能在故障初现时即刻预警并提供修复方案，保障医院运转顺畅。在安保消防方面，借助智能摄像头与三维视频融合技术，监控画面转换为全景实况，极大提升了安全监控的全面性与应急响应速度。后勤物业管理则利用 BIM 与物联网，构建起医院设施的智能监控网，实现全生命周期管理和环境能源的精细化调控。能耗管理通过结合精密传感器与 AI 算法合力识别能耗的模式，自动优化资源使用，并允许管理人员在虚拟环境中模拟节能策略，打造绿色可持续的医疗环境。

沉浸式大型医疗设备管理。在元医院边界内，部署在大型医疗设备上的各类传感器负责捕捉设备实时数据，并通过网络传输至云端或本地服务器，实现设备数据的连续采集与远程访问。大型医疗设备的每一个运行状态均在传感器的严密监视之下，通过将这些转化为数字信号，再经过精密算法的深度解析与智能处理，孕育出与实体设备一一对应的数字

孪生体，从而基于收集的数据创建设备的虚拟模型，模拟设备的实际工作状态和性能表现。大型医疗设备的虚拟仿真模型不仅可提供实时设备透视图，还可以将复杂的内部运作数据映射到元医院虚拟世界，实现设备实时监测和自动化运维管理^[81]。当设备发生异常时，元医院管理平台可立即捕捉信号并呈现预警信息，通过先进的数据分析与预测模型，对设备运行状态进行解析，在设备内部动态运行状态中精准定位故障源。基于设备监测工具的即时反馈，系统能够自发启动预设的维护程序，并向技术人员提供专业的修复指南，或在维保操作时通过 AR 和 VR 为技术人员提供直观的视觉指导，加速故障排查与修复过程，确保医疗服务的连续性和安全性。

沉浸式安保消防监控管理。在传统九宫格式视频监控系统中，医院安防人员需要同时监控多路分割的视频画面，这不仅要求极高的注意力分配能力，而且在缺乏直观地理参照的情况下，很难将零散的分镜头视频与其实际地理位置对应起来。此外，传统模式下的安防监控难以实现大范围场景的即时全局审视，也难以对历史事件进行快速回溯查找，在一定程度上限制了应急响应的速度与精度。元医院的安保消防监控体系借助于尖端的智能摄像头与遍布各处的高灵敏传感器网络，实时搜集现场视频与关键数据，通过三维视频融合技术平台作统一展示^[82]，将大量零散的实时画面融合到三维实景模型场景中，并将相邻画面拼接融合，形成全方位直

观整体的监控画面。如此一来，监控界面不再是一块块割裂的屏幕碎片，而是转换成了一幅生动连贯的全景实况，既包含动态的实时活动，也融入静态的环境细节，构造出一个接近于现实的动态、静态相结合的混合现实环境展示，方便医院安保人员对院内安防场景进行监控与管理。

沉浸式后勤物业管理。在元医院虚拟与现实交融的管理场景中，将实现一种从传统的“单一维度”的空间管理向“多维度并存”的形式转变，深刻变革着医院运营管理的实践。这种转变不仅极大拓展了实际医院运行过程的管理与控制方式，而且为后勤物业管理带来了革命性的创新。完成对实际医院运行过程的管理与控制。借助建筑信息模型（BIM）数字孪生技术和物联网智能感知的双重驱动，元医院后勤物业管理体系统织了一张覆盖医院基础设施每个角落的智能监控网络。创建物理医院的高精度 3D 模型，在虚拟环境中精确映射和模拟医院建筑和设施的物理特性和功能特征。元医院后勤物业管理集成了包括实体医院暖通、变配电、给排水、医疗气体、电梯等全专业设备运行的智能监控系统，实现医院房屋资产、设备设施和管线全生命周期管理、能源管理、环境管理、维修作业等关键功能的线上映射与互动，并可以持续监测医院内外部环境质量，在现有智慧医院的基础上，进一步推动了后勤物业管理向着更加系统化、精细化的水平发展^[83]。

沉浸式能耗监测与管理。元医院以其前瞻性的设计理念，通过部署广泛的精密传感器网络来收集医院各项设施和设备的实时运行数据，如环境的温湿度到设备的能耗，再到电力、水资源和燃气等关键能源的能源消耗数据。在此基础上，通过 AI 算法技术对海量数据进行深度分析，识别医院能源消耗的内在规律和潜在的浪费节点，再依托自动化和智能控制系统基于实时数据和预测分析，自动调整设备的运行参数，执行预防性维护任务，优化资源分配和能源使用效率，确保每一分能源的精准投放，最大限度减少浪费。同时，医院管理人员可以在元医院的虚拟环境中直观地查看每一台设备的能耗情况，甚至可以在虚拟现实环境中模拟多种节能策略，测算不同方案对医院整体能耗的影响。元医院通过对能耗进行监测，实现精细化的能耗管理，为未来构建更绿色、更可持续的医疗环境提供了强大的工具。

元医院后勤综合管理场景用到的元宇宙关键技术包括：物联网技术、大模型技术、数字孪生技术、VR/AR/MR 技术、手势与眼动追踪技术等。

表 24 元医院后勤综合管理场景应用的元宇宙关键技术

关键技术	场景应用点
N2-物联网技术	支持物资数字化管理、能耗监控等场景配套高灵敏传感器网络 and 各类 RFID 标签,实时收集物资位置状态、实地环境状况等数据。
I1—深度学习技术 I2-大模型技术	在后勤能耗监测等场景,集高效算法与深度学习,通过从海量数据中提取有用信息,学习如何完成既定任务。

<p>E1-数字孪生技术</p> <p>E7-BIM 技术</p>	<p>配套高精度 3D 建模、即时渲染技术、三维视频融合技术等，构建各类三维立体的物理映射模型，包括建筑构造、设施布局、设备外观与透视结构等，支持在虚拟空间中找到线下物理环境每一动态的数字化镜像呈现。</p>
<p>E8-GIS 技术</p>	<p>实现对医院设备、设施的空间定位、搬移轨迹追踪，保障医院财产安全。</p>
<p>V3-VR 技术</p> <p>V4-AR 技术</p> <p>V5-MR 技术</p>	<p>在指挥中心、安保消防、后勤维保等场景提供沉浸式全景浏览及互动功能，支持在实际环境中直观查看与操作数字信息。</p>
<p>S4-手势与眼动追踪技术</p>	<p>在指挥中心等场景感应用户手势动作，实现在虚拟空间中与虚拟分子影像的交互控制。</p>

3.7 场景落地预期

人类在现实的物理时空中是通过感官（视、触、嗅、听、味“五感”）实现与外界环境空间、与物品、与人进行交互，从而开展各类医疗、管理、服务活动。而元医院建设的关键是在虚拟空间中构建出虚拟的环境、物品、人物等元素，然后允许用户进入虚拟空间中并与之交互。实际上是在虚拟空间中通过各种技术复现和增强了用户原本的感官，为用户在虚拟空间中构建并模拟了“视觉、触觉、听觉”（当前味觉、嗅觉尚无法在虚拟空间中模拟）。在虚拟空间中模拟的感觉种类越多越逼真，则技术难度越大，技术成熟度相对越低。

从国内实践情况来看——

医院迫切需要和比较需要的场景是围绕诊断-治疗-康复链条的临床医疗场景，以及以临床医疗为核心延展而出的临床教学和临床科研模拟场景。调研显示（见图 10）：目前元医院典型应用场景 23 个中医院侧需求迫切程度，受访医院最为迫切的需要是“虚实融合疾病筛查和辅助诊断”场景，占比 24.62%，其余选项均没有超过 20%。这也意味着医院对大多数元医院场景建设需求并不十分迫切，可能的原因也许是医院对大多数场景是“什么样”并不清楚；对建设后能为患者和医院带来哪些改善也不清晰，再次印证了元医院尚处于概念普及和零星试水的萌芽阶段。受访医院比较需要的场景中超过 60% 的医院选择的是“术前三维虚像方案模拟（占

比 72.31%）” “术前三维虚像患者教育（占比 69.23%）” “虚拟康复训练（占比 67.69%）” “术中三维虚像辅助（占比 66.15%）” “虚拟增强护理（占比 64.62%）” “虚拟智能随访（占比 64.62%）” “仿真模拟临床试验（占比 63.08%）” “远程咨询和虚拟会诊（占比 63.08%）” “专业实操模拟教学（占比 61.54%）” “数字孪生院区（占比 60%）” “元医院指挥中心（占比 60%）”。对其余场景均未超过 60%。对于不太需要的场景，受访医院选择最多的是“数字化身匿名交流（占比 43.08%）”，其余的“不太需要的场景”选项均未超过 40%。对于完全不需要的场景，同样有 9.23% 的医院选择了病房内“数字化身匿名交流”，这一比例在“完全不需要的场景”选项中占比最高。可能的原因医院作为医疗服务提供的主体从临床治疗的习惯来讲希望患者能“毫无保留、实事求是地暴露在医生面前”，而匿名交流的需求关注最多的应该是患者而不是本次调研的医院。此外，元病房数字孪生也有 9.23% 的医院表示完全不需要。可能的原因在于医院认为临床是医疗的根本，患者既然在住进院内病房，医生就应该到病房内去查房、诊疗，而不是依靠进入映射到线上的元宇宙虚拟空间元病房里远程对患者进行观察和服务。

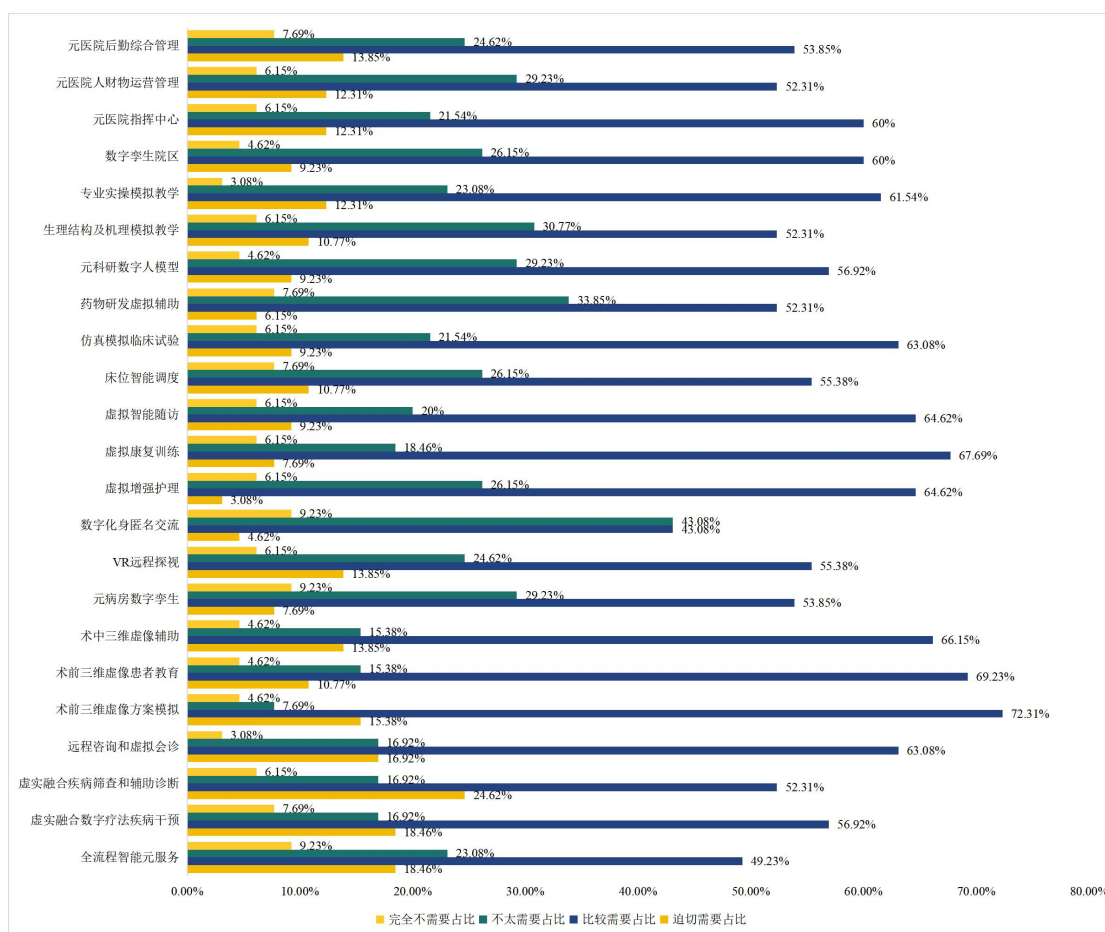


图 10 医院对场景的需求迫切程度

资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。

厂商的技术实现预期与医院需求存在差距，二者不能匹配。超过半数的厂商认为当下技术即可实现的场景包括（图 11）：68.18%的受访厂商认为“远程咨询和虚拟会诊”、59.09%的厂商认为“虚拟智能随访”、54.55%的厂商认为“VR 远程探视”，50%的厂商认为“专业实操模拟教学”是当前技术可优先实现的场景。超过半数的厂商认为 2-3 年可实现的场景包括：63.64%的受访厂商认为“元科研数字人”、50%的厂商认为“床位智能调度”是技术在 2-3 年内能落地的场景。如果将医院迫切需求和比较需求的场景与厂商的技术实现

预期进行对比（表 25），可以发现：“远程咨询和虚拟会诊”、“虚拟智能随访”两个场景医院需求迫切程度和厂商技术实现能力较为接近。

表 25 医院比较需要的场景中厂商技术实现的难度预期

场景	医院认为比较需要且 选择超过 60%场景比例	厂商落地预期
术前三维虚像方案模拟	72.31%	40.91%认为中长期 5-8 年实现
术前三维虚像患者教育	69.23%	36.36%认为中长期 5-8 年实现 也有同比例认为 2-3 年实现
虚拟康复训练	67.69%	36.36%认为现阶段能实现或 2-3 年实现
术中三维虚像辅助	66.15%	36.36%认为中长期 5-8 年实现 也有同比例认为 2-3 年实现
虚拟增强护理	64.62%	45.45%认为 2-3 年能实现。
虚拟智能随访	64.62%	59.09%认为现阶段能实现
仿真模拟临床试验	63.08%	45.45%认为 2-3 年能实现
远程咨询和虚拟会诊	63.08%	68.18%认为现阶段能实现
专业实操模拟教学	61.54%	50%认为现阶段能实现
数字孪生院区	60%	40.91%认为 2-3 年内实现
元医院指挥中心	60%	50%认为中长期 5-8 年内实现

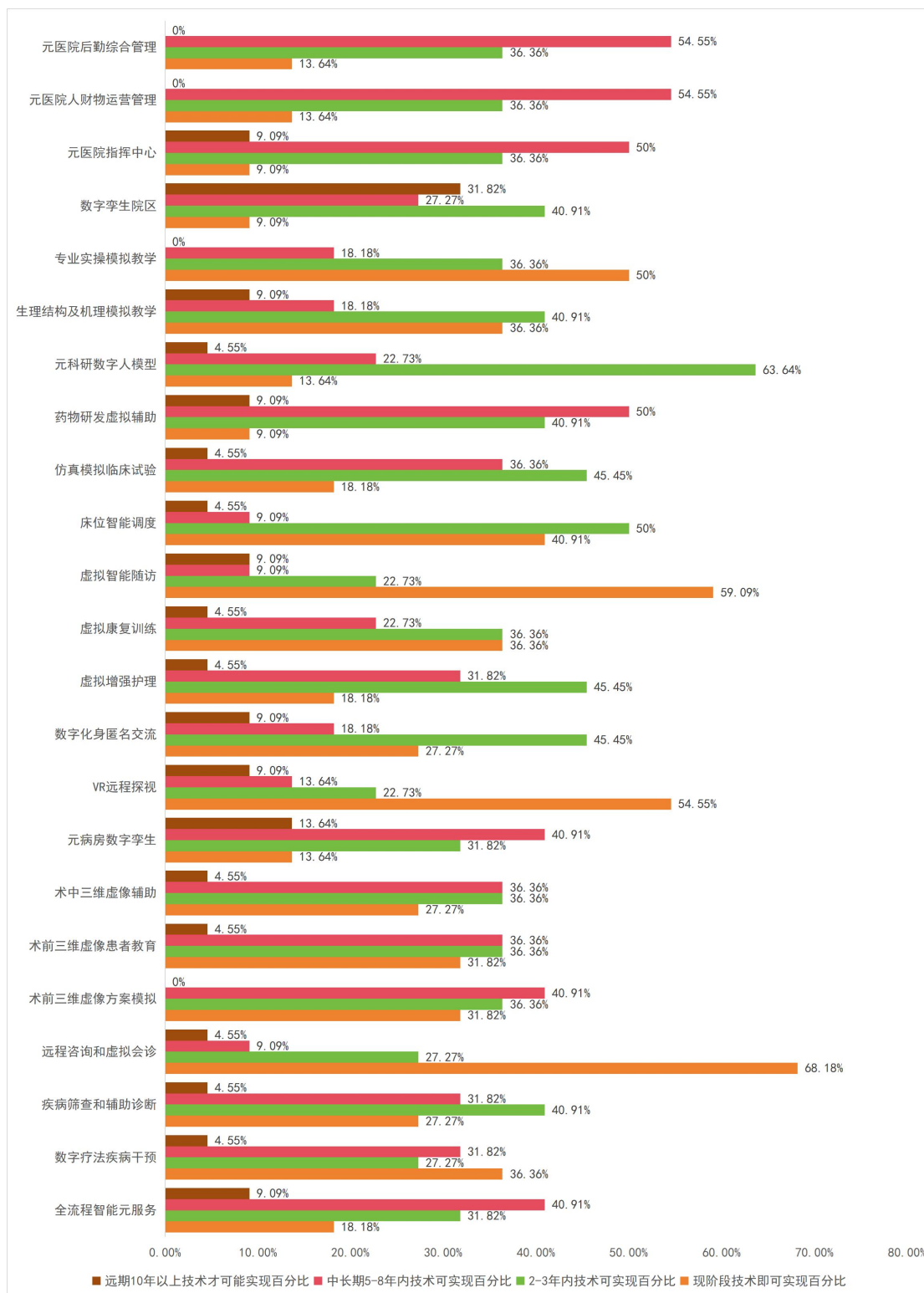


图 11 厂商对应用场景落地的技术预期

资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。

3.8 元医院运营管理模式建立

3.8.1 元医院运营管理组织的改变

当前国内外大型综合医院开展“医、教、研、防、管”全场景元医院建设比较罕见，多为个别场景散在的探索性试水。因此国内外尚未有覆盖全院的元医院运营管理组织架构搭建的成熟经验。但部分元医院场景建立了对应的运营管理组织。

例如互联网医院场景，未来有可能作为元医院的重要入口，推动医疗健康服务从二维平面服务向三维沉浸式服务延伸。当前越来越多的医院发现互联网医院建设不仅仅是功能模块和技术平台，更需要专业而持久运营，否则会出现“建而不用”的困局。此种背景下，公立医院纷纷成立专业的互联网医院运营管理组织。通常由信息化人员、管理人员、临床专家（包括临床、医技各科专家、护理部专家、药学部专家）组成“医-信-管”跨专业团队。医院内部互联网医院运营团队的组织架构分为：领导层，管理层和执行层。领导层主要包括分管副院长以及设立的互联网医院主任。负责对互联网医院发展战略的制定和日常决策。管理层按照分管领域可划分为若干个小组，对接各个科室和职能部门。管理层包括：业务管理小组，可由医务处、门诊办公室、药学部、财务与资产管理处、医保办、医技等部门负责人组成，负责线

上医疗和服务业务的日常管理、制定宣传策略、审核发布内容、批准新上线的诊疗服务等。技术管理小组，可由信息部门主任担任。负责互联网医院平台偏重 IT 技术方面的工作，例如日常运维、功能模块开发、优化升级、网络及数据的安全。服务小组，负责制定宣传策略、审核发布内容。**执行层**包括有线上执业资质和权限的所有医护药技人员、客服接听人员。负责提供医疗和非医疗服务。通过顶层设计、功能创新、组织管理、数据应用、质量评价、宣传推广一系列运营策略，实现互联网医院的可持续运行。

又如虚实融合的运营绩效管理场景。在公立医院高质量发展的大背景下，医院对后勤服务和运营的规范化、精细化程度要求逐渐提高，不少医院纷纷建立基于 BIM、数字孪生技术的后勤服务与运营管理一体化平台。除了对数字化工具的建设以外，医院还逐渐意识到需要匹配相应的运营管理组织，以真正发挥技术赋能的作用。运营管理组织各层级定位见下图（图 12），可划分为：院领导班子决策层、日常后勤与运营管理层、由各班组组成的执行层，以及作为服务对象的临床科室。**对于决策层**，可以借助数字化工具辅助研判和决策制定、对突发事件进行指挥和模拟演练。**对于管理层而言**，可以借助数字化工具实现日常管理的全面多维、可视化，监督后勤与运营管理要求及指标的落实。**对于执行层**，可以将数字化工具定位为业务执行系统，实现简单、易用、可视、

移动化。对于服务对象，可通过平台提报和反馈一线需求和业务问题。

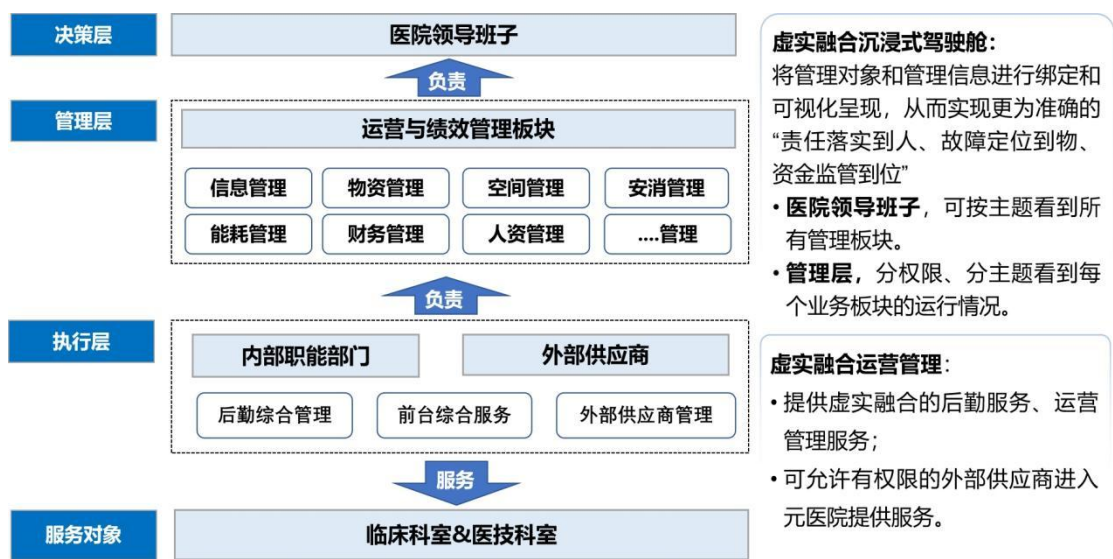


图 12 基于虚实融合的运营绩效管理平台架构

未来如果建设覆盖全院、运营有效的元医院运营管理组织架构，以下几个部分或需纳入在内：

一是需要设立分管虚拟空间院区运营的负责人。元医院作为传统医院物理空间向虚拟空间的延伸，可以看作是在虚拟空间中开辟的“新医院”，也是医院运营管理的重要组成部分。因此元医院需要设立有专门的负责人对其进行科学化、专业化的运营及管理。

二是需要设立合规管理部门负责虚拟空间中的规则制定。元医院给人类社会带来创新和进步的机遇，在惠及人类的同时，也为非法违规行为带来便利。数字技术的漏洞与缺陷给犯罪分子带来了投机取巧的机会。在其他缺乏监管的元宇宙新型网络空间内，已经出现诸如诈骗、传销、侵犯知识

产权、非法集资等财产犯罪。虚拟空间中的非法违规行为具有高智能、更隐蔽、危害性大等特点。虚拟空间不是法外之地，为了遏制不合法、不合规行为，在元医院虚拟空间中应当有专门的管理部门建立一套可靠的监督管理机制和管理规则，主要包括：身份确认、准入资质管理、虚拟空间行为管理、虚拟资产管理、隐私保护等，推动产业主体共同打造多元共治的绿色元医院环境。

三是需要设立培训部门提高医护技人员虚拟空间执业技能。元医院的建立给传统医院的管理章程与管理规则带来影响和改变，这对职工知识储备、专业技能提出了更高要求。此外，患者在虚拟空间中的就医行为和就诊心理与线下也会有较大差异，医患双方需彼此摸索适应。需设立专门组织并提供培训提高医护技人员在虚拟空间中的医疗和服务能力、能熟悉和掌控患者线上就诊心理和就诊行为，从而更好地为患者提供线上虚拟空间和线下物理空间一体化服务。

四是需要加强数字技术部门建设以适应元医院发展。线上虚拟医院的建立意味着医院的范围扩大，相应的安全保障和技术运维的范围和难点也大幅增加。元医院与智慧医院同样需要保障网络信息安全、保障用户隐私。但除此之外元医院在线下与线上时空数据同步、线上虚拟形态可持续维持、虚拟资产维保、虚拟数字人维护、虚拟货币交易等方面需数字技术部门投入更多精力。因此需加强数字技术部门的能力

建设，以适应元医院建设和发展。

3.8.2 元医院运营管理模式的改变

当前由于国内外大型综合医院对元医院的筹建处于个别元场景概念构想、方案规划或零星建设的探索性试水阶段。因此尚未有对元医院整体运营模式的完整实践和有效模式的总结。但是从元医院虚实融合的业务空间和业务场景中分析，患者的就医模式、医院的经济活动模式与单纯线下传统医院既有模式相比，推测可能会发生较大改变。

(1) 以患者为导向的诊疗模式改变

与在线下实体物理空间医院就医模式相比，元医院里患者就医诊疗模式或将改变，可能会表现在以下几方面：

一是知情模式改变。患者就诊前对医院服务能力的了解将变得更加全面，要求更高的知情权，减少医患双方信息不对称。由于患者可通过头显、眼镜、平板等接入设备进入实体医院映射到线上的虚拟空间，因此患者无需到院就可提前看到院内空间环境、硬件设备设施、病房住宿条件、手术室环境、停车场车位余量、院内人流量和拥挤程度等实时情景，从而在进院前获得比医院官网文字介绍更立体、更具象的认识。患者对医院就医环境、服务能力提前了解会使得患者对服务更加“挑剔”，从而进一步要求医院加快提高服务水平。

二是就诊模式和诊疗流程改变，患者非诊疗程序化环节部分可剥离到院前完成，医院将更加聚焦诊治环节。患者可通过手机、平板、头显、眼镜等接入设备提前进入实体医院映射到线上的虚拟空间，预先完成院内环境查看、预约、咨询、手续办理、缴费等业务，而不必到线下医院现场处理，从而减少了患者路途奔波交通成本和时间成本。医院也可更聚焦在诊疗环节，以及进一步减少来院患者流量，避免拥挤，从而提供更好的就医环境。然而需要注意的是，适应线下的诊疗流程往往不适合线上虚拟空间模式，因此需要探索建立适应线上虚拟空间和线下实体空间同时开展诊疗服务的患者就医流程，实现两个空间内服务的顺畅接续和有序衔接，避免患者在复杂流程中迷路，不知道下一步操作和去向；或在线上线下两个空间频繁出入折返，影响就诊体验和效率。

三是医疗决策模式改变，患者会对疾病及治疗方案更加了解，从被动接受诊疗转为主动参与医疗决策。通过基于三维虚像的治疗方案预演和患者教育，患者对疾病的发生机理、治疗每一环节会有更生动、更深入的了解。对治疗方案及治疗过程的知情权进一步提高，变被动接受治疗为主动参与到治疗方案的讨论中。即便是与医生身处异地的患者也能进入元医院的线上虚拟空间中观摩三维立体的病灶结构和治疗方案，从而提高患者对治疗的顺应性和配合意愿。

四是隐私保护模式改变，患者会更注重多方面隐私保护。

线下物理医院对患者的隐私保护往往只涉及患者医疗文书、生物特征不被泄露等方面。在元医院虚拟空间中，隐私保护的范 围、内容和深度被扩大。患者在虚拟空间中的行为轨迹、对虚拟物品的操作痕迹、对话交流内容、数字人形象与真身的对应关系等也是隐私的重要组成部分，需要被记录但不能泄漏。

五是交流模式改变，患者会通过匿名化交流获取平等对待。虚拟空间中，患者会通过建立数字人形象进一步遮掩自己的外观容貌隐私、通过对数字人重新装扮、语音转换等手段消弭自己阶层隐私、社会身份隐私，从而获得医护的平等对待，与其他病友平等交流。

（2）以资源为主线的经济活动模式改变

医院的资源主要包括人力资源、财务资源、物资资源、能耗资源、空间资源。元医院中以资源为主线的经济活动模式，与单纯线下医院相比或将发生以下改变。

人力资源将被充分利用，数字分身将使“一人多角”同时工作成为现实，创造倍增价值。在元医院虚拟空间中，职工可以创建自己的“数字分身”形象，在人工智能及大模型的赋能下，数字分身被“注入灵魂”具有一定智能，能开展交流互动及处理部分业务问题。例如：外科医生的数字分身可以在虚拟空间中为患者开展简单咨询、教育、答疑、随访

工作。而外科医生的真身则在手术室里为另一位患者开展手术操作，从而实现“一人两角”同时服务多个患者。又如服务人员的数字分身可以为其患者线上办理入院手续等程序化操作、自动接听并记录电话内容。而服务人员的真身可以去接待线下更为重要的来访者，处理更为迫切的事务。

物资资源将被充分创造，或可减少实物购置和维修成本。
在元医院虚拟空间中，不仅能一比一映射出线下真实物资，而且还能创造线下所没有的新的虚拟物资。例如创造康复训练用的虚拟器械和设备；创造教学用的虚拟教具（例如人体器官模型等）。医院或可减少了对实体物资的采购成本、维修成本。而且虚拟物资理论上可不限次数的使用、通过数据快速复制比实体物资的再造更便捷，复制边际成本更低，且理论上没有报废处置的环节和成本。

能耗资源的使用将被可视化，从而提高能耗使用效率。
在元医院虚拟空间中，用水、用电、用气等或可借助物联感知设备、数字孪生、BIM、GIS 等技术被可视化，其流速、流量、流向、流经渠道、温度、使用的对象（用能的人、物、空间）都会被记录下来并可可视化为三维影像，用作精细化后勤能耗管理的依据。但是需要注意的是，元医院对能耗的使用整体上可能会有所提高。因为维持医院的线上虚拟形态、线下与线上时空数据同步所耗费的算力资源可能是巨大的，而算力对电能的消耗可能会成为未来元医院的主要开销。

空间资源将被合理安排和充分利用，减少线下场地建设和租借成本。在线下物理空间日益有限的背景下，部分诊疗业务、患者服务业务将转移到元医院线上虚拟空间中承载。例如患者咨询、手续办理、术前患教和治疗方案讨论、康复训练、教学培训等或可部分在虚拟空间而非实体场地中进行，从而减少物理空间中的人员拥挤和占地面积。医院物理空间资源在一定程度上将被释放出来，容纳必须在线下实体空间完成的业务环节。

财务资源种类将不断丰富，交易模式多元化，虚拟经济和实体经济共同繁荣。在元医院线上线下一体的虚拟空间中，不仅能用实体货币对医疗服务和产品进行付费，而且还会产生并使用虚拟货币进行付费，以及提供虚拟货币和实体货币的兑换服务。例如术后康复训练的患者用实体货币或虚拟货币购买虚拟训练器械、租借线上虚拟场地空间。医院的收入和支出、财务核算等或许将由虚拟货币和实体货币两部分组成。需划分并制定可用虚拟货币交易和采购的服务、物资范围及种类，以及制定虚拟货币与实体货币兑换的汇率。

四、元医院挑战与展望

4.1 问题与挑战

元医院虽然还在探索期间，但一些存在的问题已经开始逐步显露。医院作为医疗业务提供方遇到的问题和厂商作为技术供给方遇到的问题不同。

4.1.1 医院遇到的挑战

医院业务侧遇到的主要挑战有四个方面（见图 13）：

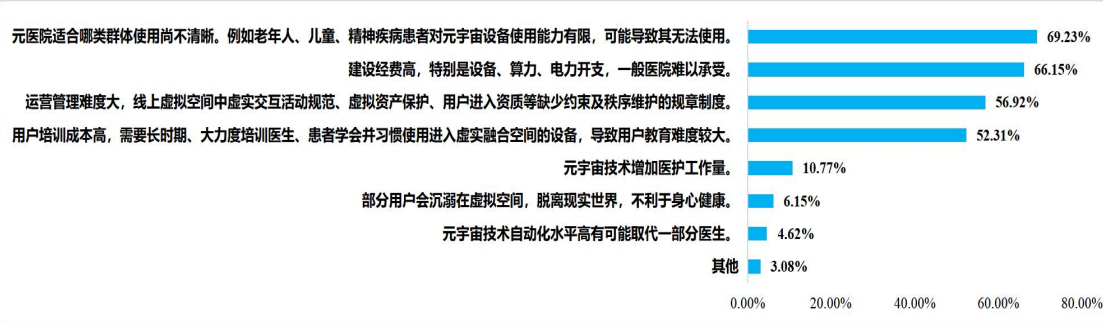


图 13 医院认为当前元医院建设存在的问题与挑战

资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。

（1）元医院适合的用户群体不明确。69.23%的受访医院认为：元医院最大的挑战是“适合哪类群体使用尚不清晰”。例如老年人、儿童、精神疾病患者对元宇宙设备使用能力有限，可能导致其无法使用。当前大部分医院都已经开展互联网医院建设，而在对互联网医院的推广过程中，给老年人、儿童、无自理能力的残障人士特殊人群带来使用便捷性等挑战。所以尽管大部分医院尚未开展元医院建设，但是作为互联网医院的延伸，很多医院已经超前认识到其可能不适合所有人群使用。此外，从社会角度看由于元宇宙虚实融合技术

尚未真正融入到社会生活的方方面面，大部分百姓可能不清楚元医院到底是什么、能带来什么，加之由于我国元医院建设是由政策推动和技术驱动，导致目前医院对真正的使用对象和真正的患者需求不十分了解。

（2）元医院建设和运维投入高昂。66.15%的医院认为“建设经费高，特别是设备、算力、电力开支，一般医院难以承受”。元医院的建设和运维是多种前沿数字技术的综合应用，虽然技术将为医患带来便捷性、精准性的优势，因此可能会投入较高成本。特别是算力成本，持续不断地算力投入和消耗将用来把整个实体物理医院及其内部医教研防管全部活动数据化，实现整个实体医院的线上映射，以及在虚拟空间中添加创建新的元素。强大的算力将确保线上虚拟空间能24小时稳定存在并时时与线下时空实现数据同步。确保不会出现线上虚拟空间突然消失、用户无法接入进去、线上映射内容与线下实体医院运行实况不同步等异常情况。完整的元医院建设和运维仅仅是技术成本就可能是巨大且难以估量的。此外真正对患者和医院有价值的建设场景仍有待筛选和评估。由于投入成本和价值场景不明确，因此元医院建设落成后到底能为百姓节省多少就医成本、为社会带来多少效益，短期内或将难以评价。

（3）元医院将带来额外的用户培训成本。52.31%的医院认为“用户培训成本高，需要长时期、大力度培训医生、患者

学会并习惯使用进入虚实融合空间的设备，导致用户教育难度较大”。一方面元医院存在用户进入培训成本。与可直接在手机、平板上操作的二维互联网医院不同，进入元医院的虚拟空间需要特殊的设备，例如 VR、AR、MR 眼镜、脑机接口等，这些装备目前较少有用户拥有和体验过，因此带来较高操作学习成本。另一方面存在进入后操作使用成本。进入元医院空间的用戶还需适应虚实融合的场景并学习如何与其互动，例如：用户需要学习如何移动和使用虚拟物品、如何与其他用户的数字化身交流、如何使用虚拟货币进行支付等，这些操作也需要培训才能熟练完成。

（4）元医院运营管理难度大，虚拟空间里的活动缺少规则约束及秩序维护。56.92%的医院认为“运营管理难度大，线上虚拟空间中虚实交互活动规范、虚拟资产保护、用户进入资质等缺少约束及秩序维护的规章制度”。由于元医院是线下实体物理医院向线上虚拟空间的开辟和延伸，对于医院而言，其建设工程量和复杂程度不亚于单独建立一个新医院或院区，相应的，医院运营管理的范围将从线下空间变为线上线下一两个空间的融合，管理范围逐步变大、管理对象虚实兼有逐渐多样。虚实融合新场景的出现将使医患双方行为发生改变，也给管理带来全新挑战，例如：虚拟空间管理组织搭建、职责划分；虚拟物资管理；虚拟空间行医资质和医疗标准建立、就医秩序维护、患者权益保障、收费价格和医保支

付标准、医学伦理^[84]等尚处于空白。当前虚拟泛化、体验扩张、技术不成熟、认知不足、理念滞后、监管缺位等因素^[85]，元医院管理规章制度远未健全，将影响元医院可持续运行，导致“建而不用”“建而难用”困局。

4.1.2 厂商遇到的挑战

厂商侧遇到的技术挑战主要有 3 个方面（见图 14）：



图 14 厂商认为当前元医院建设存在的技术问题与挑战
资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。

（1）人工智能结合不紧密导致元医院智能化程度不高。受访厂商中 63.64%的厂商认为“与 AI 结合不紧密，智能化程度不高”。元医院是智慧医院发展的高级阶段，当前大部分医院仍处在“三位一体”智慧医院建设时期，人工智能技术与其他技术的融合度低、院内数据治理体系不完善、支撑模型训练的高质量数据不足，导致大部分医院对人工智能的应用处于初级阶段，尚未渗透到临床、运营管理、患者服务各方面，制约了医院智能程度的提升以及向元医院的演进。

（2）模拟技术不成熟导致元医院仿真程度不够。受访厂商中 54.55%的厂商认为“模拟仿真技术不成熟，导致虚拟空间人、物、环境失真或不稳定”。虽然当前仿真技术发展迅速，

机理模型、经验模型、数据模型等建模方法成为主流，Sora 等生成式大模型也向着真实世界模拟发展，但是对人或物实体运动的物理定律模仿仍不够准确和精细，甚至会产生不符合物理定律的运动，给用户带来不了逼真的感官体验，在医疗领域甚至有带来潜在医疗事故的风险。

（3）算力不足导致元医院稳定性不好。受访厂商中 45.45% 的厂商认为当前“算力不足以支撑元医院运行”。为了将线下实体医院映射线上并在虚拟空间中创造全新应用场景，需要强大的算力基础设施提供运算、存储、调度能力，否则线上虚拟空间的稳定、可持续存在将受到影响。然而目前国产算力面临不同种类芯片互联与调度技术难度大，生态不统一，各类异构算力不能形成合力等问题，影响形成综合不同芯片形成异构算力构建新型计算体系的推进进程。

4.2 建议与展望

4.2.1 元医院建设的三大建议

行业起步虽慢但思考领先。虽然国内元医院的建设刚刚起步，但医院侧和厂商侧都对元医院“怎样建”“建后如何运营”“培养什么样用户”等方面做出了前瞻性思考，以下是医院和厂商调研提及较多的三大建议（图 15-图 16）。

（1）建议做好顶层规划、技术可行性评估和经费投入评估。80%的受访医院和 81.82%的受访厂商都建议“医院在建设元医院前做好顶层规划、技术可行性评估和经费投入评估，避免盲目建设”，这一选项占比远远超过其余选项。与智慧医院建设类似，做好顶层规划是开展所有信息化、数字化、智慧化、智能化建设的前提，通过规划设立清晰的建设目标、描绘全场景蓝图、设计严密的实施路线图。特别是需要将规划蓝图在科室和职能部门之间做好论证，推动各方对建设方向、建设目标、建设场景、建设路线共识的达成。避免由于缺乏规划和方案论证导致后期建设零敲碎打，难以支撑未来的业务发展。

（2）建议打造多技术融合的未来医院信息科。56.92%的受访医院和 68.18%的厂商都认为应“尽早建立多技术融合医院 IT 部门，保障元医院信息安全和用户隐私安全”。传统的以运维保障工作为主、以 IT 技术人员为主的信息化部门已经不能适应，需要优化部门人员结构，吸纳既懂医疗又懂前沿

数字技术的复合型人才纳入 IT 部门。特别是吸纳掌握数字孪生等虚拟构建技术、VR/AR 等用户接入技术、大模型等智能决策技术、虚拟空间安全保障和运行维护技术的人才加入团队，维护虚拟空间的稳定存在，为各项业务开展提供保障。制定虚拟空间里的数字技术应急预案，开展攻防模拟演练，定期对虚拟空间的安全性、稳定性、隐私保障能力开展评估，避免元医院线上部分遭到破坏甚至牵连线下业务，保障线上线下 IT 服务的连续性、稳定性。

(3) 建议重视用户培训以适应虚实一体的就医和执业环境。

61.54%的医院和 68.18%的厂商都“建议开展面向医生、患者、管理层等各类用户的培训，帮助想进入虚拟空间的用户适应线上执业和就医场景”。**一方面培训用户习惯在虚实融合的空间里开展活动。**元医院的用户涉及患者、医务人员、医院外部合作伙伴等多个群体，对于医务人员，通过培训掌握虚拟空间里的诊疗和沟通技能，可使其熟悉并更好提供虚拟会诊、术前三维虚像患者教育等新型服务。对于广大患者接受相关培训同样重要，可使其学会进入虚拟空间、操作虚拟物品、与数字人交流等，便于其接受虚拟康复训练等医疗服务。特别是对老年人、未成年人、残障人士等特殊群体，需要受过训练的专业人员陪伴其进入虚拟空间就医。**另一方面需要辅导用户虚实交互平衡有度。**既有国外研究表明虚拟世界中的活动会影响用户在真实世界的社会关系、心理状态^{[86][87]}。

考虑到元医院建成后一些用户个体可能会出现过度沉溺于虚拟世界，忽视现实社会中的社交沟通和责任义务的问题。为管理这种风险需要对用户的行为进行辅导，例如：设置虚拟空间驻留时长、虚拟服务使用时间提醒、评估线上医疗及社交互动的质量，从而提供线上线下医疗活动的平衡建议等。



图 15 医院对元医院建设和可持续运营的建议

资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。



图 16 厂商对元医院建设和可持续运营的建议

资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。

4.2.2 元医院建设的四大趋势

医院形态改变必将驱动医院功能和职能的转变，进一步带动人们思维方式、行为模式、医患关系的转变。随着医院从局限在原有的线下实体空间里开展业务，转向“虚实融合”，在线上线下两个空间里运行开展业务，医院内部将产生新的岗位、职能和部门（见图 17），从而支撑医院能够在虚实两个空间里开诊运营。

（1）未来将形成虚实一体运营管理，使元医院运营更规范。

64.62%的受访医院认为未来将会新增“虚拟空间医疗服务运营管理”岗位和部门。未来行业主管部门层面将形成全新监管框架，运用全新的治理手段对拥有虚拟空间和虚实融合服务的医院开展监管。医院层面将设立分管负责人，结合 IT 技术专家、法律专家、医政医管人员、临床医生成立医院“虚拟空间合规管理组织”共同探讨和建立适应元宇宙特性的规制框架，制定虚实融合的看病就医、行医执业、运营管理、财务经济等活动等遵循的规章制度和标准规范。

（2）未来将更加注重患者教育，规范患者虚拟就医行为。

58.46%的受访医院认为未来“患者教育，教育患者如何进入和使用虚拟空间里的服务”将成为医院重要新职能。专门的培训机构、监督管理机构等也将应运而生。不但教会患者学会进入虚拟空间，学会使用虚实融合服务、虚实交互设备；更重要的是培养患者养成虚拟空间中良好的就医行为规范。

增强患者法律法规意识、强化自我隐私保护意识、建立虚拟社交的信任关系，并提供技术支持和反馈渠道，医患双方共同维护良好的虚实融合的就医环境。

（3）未来将严格医生执业资质，遴选适合虚拟执业的医师。

53.85%的受访医院认为未来将产生“虚拟空间执业资质认定，对能进入虚拟空间执业的医生考核审核”。越来越多的医疗服务开始向线上转移，医生执业资质的考核也将发生改变。由于虚拟空间中的医疗存在一定的特殊性，不是所有医务人员都适合，也不是都需要进入线上虚拟空间执业，因此需要从既有线下执业资质的医生中进行再次选拔和考核，获取虚拟执业资质的医师才有资格进入空间执业，以确保提供虚实融合服务医师的医疗质量与安全。

（4）未来将注重医生多元化能力培养，增强虚实融合执业技能。

53.85%的受访医院认为未来将丰富“医生培训，培训医生掌握虚拟空间中提供服务、与患者沟通的技能”。元医院应用场景将驱动对医生的执业技能和知识结构重新评估与定义。为了确保虚拟空间诊疗的安全性和有效性，在原有的临床医学教育背景下，医生需增加关于数据安全、隐私保护、与匿名化的数字人患者沟通技巧、虚实交互设备操作、虚拟社会心理学、网络伦理学、虚拟行为学等方面的培训内容，相应的培训机构、岗位、人才和管理制度也会应运而生。

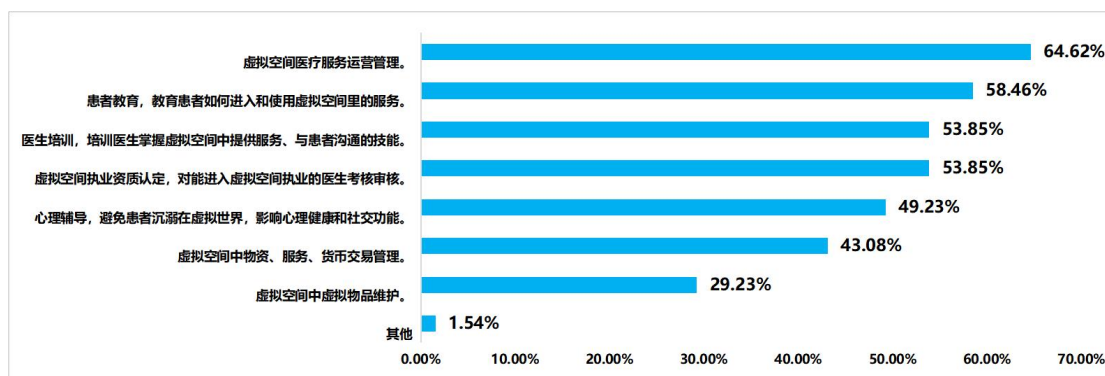


图 17 医院认为元医院将带来的新岗位、新职能或新部门
资料来源：上海市数字医学创新中心，中国信息通信研究院调研与分析。

附录 元医院典型标杆案例

上海交通大学医学院附属瑞金医院数字孪生智能综合运营平台

瑞金医院从 2021 年起，构建数字孪生智能综合运营平台，已整合各分院区医疗服务、资源利用、安防管理等实时数据，结合多协议物联感知设备数据，实现全院运营的分级分层细化分析,帮助医院管理者在数字孪生医院中对医疗服务运行、医疗资源利用、医疗质量、患者体验、设备运维、后勤安保、楼宇管控等管理工作。通过对院区、楼宇、楼层、房间、设备设施进行逐级全要素数字化和语义化建模，联动多源数据融合，形成全空间一体化关联的医院数据底板，并以此为基础实现了数字孪生医院可视化展现、智能计算分析（见图 18）。



图 18 一体化数字孪生智慧运管系统大屏端

北京大学肿瘤医院“数字孪生患者”模拟仿真药物临床试验

北京大学肿瘤医院作为临床试验机构，启动了名为“平行的前瞻性虚拟临床研究——Principal-001 虚拟临床研究”的乳腺癌药物研究项目^{[88][89]}。项目于 2023 年 2 月 7 日启动。研究使受试者同时进入真实的临床试验和虚拟的临床试验，评估虚拟临床试验与真实临床试验结果的一致性。研究的平行对照试验用药方案是化药+靶向药，目标人群是三阴性乳腺癌患者。

虚拟临床试验首先从靶点、基因组、数据、基因表达数据、免疫微环境等角度完成了六个模型的建设，分别是理想药物模型、预后评分预测模型、靶点表达预测模型、肿瘤表达靶点的不良预后评分模型、特定化响应的评分模型和肿瘤微环境模型。通过训练模型，完成电子药物的开发（即药物的数字孪生体）。然后为 6 例受试患者建立了一一对应的数字孪生体，让其使用电子药物。

结果显示：目前入组的 6 例患者数字孪生在虚拟研究中对药物的响应结果和真实临床 IND（Investigational New Drug）试验结果一致。该研究预示着虚拟临床试验的前景广阔。既可模拟疾病进展后不同用药方案的治疗效果，也可模拟临床试验 I 期、II 期药物的不同剂量-反应关系；可用于回顾性验证，即与已完成的上市药物研究结果比对；也可用

于前瞻性验证，即与新药临床试验和药物临床治疗结果头对头平行实施（见图 19）。



图 19 虚拟临床试验部分建模方法简要技术路线

来源：图片来自刘懿贤，郑莉《虚拟临床试验应用现状及趋势》

浙江省卫生健康委推出全国首个可陪诊数字人

“陪诊师”主要服务于对医院不熟悉的老年人，以及部分对医院环境、就诊流程陌生的外地患者。这一新兴职业面临着行为规范化、专业是否值得信赖、是否会打破公平就医、安全等系列问题。为解决上述问题，模拟真人陪诊的数字“陪诊师”借助最前沿的数字人技术应运而生——2023年11月15日，浙江省卫生健康委联合支付宝推出了全国首个可陪诊数字健康人“安诊儿”（见图20）。就诊前，它会根据患者输入的症状，提示应该挂什么科室，并直接提供挂取号、签到服务；就诊中，会协助患者进行就医规划，并提供流程指引、导航带路、报告查询、医保支付等服务；就诊后，还会为患者建立一份院内外通用的健康档案，让患者通过互联网医院等功能进行长期健康管理。“安诊儿”^[90]已在浙江大学医学院附属第一医院、浙江大学医学院附属邵逸夫医院等浙江全省30家医院应用。



图 20 数字人陪诊师“安诊儿”

华中科技大学同济医学院附属协和医院新冠肺炎混合现实 医学影像指导肺炎救治

华中科技大学同济医学院附属协和医院^[91]结合医学混合现实、人工智能、5G 云平台、边缘计算将新冠肺炎患者的肺部 CT 扫描原始数据，通过混合现实技术（MR）专业软件构建三维全息的可视图像，并借助 5G 和云平台技术将三维立体图像引入到现实场景中，在虚拟世界、现实世界和用户之间实现互动。此次创建的新冠肺炎三维立体医学影像，医务人员戴上混合现实眼镜即可将新冠肺炎患者肺部三维立体影像呈现眼前。与 CT 阅片室电脑上二维图像相比，医务人员可通过手势在空中移动、旋转、缩放三维图像(见图 21)，直接“透视”观测新冠肺炎的肺部结构，清晰地看到病变部位（绿色标注）。



图 21 医务人员通过手势操纵影像

致 谢

(按姓氏拼音排序)

陈玮琪 首都医科大学附属北京天坛医院

刘从进 复旦大学附属华山医院

王春鸣 上海交通大学医学院附属仁济医院

王长明 首都医科大学宣武医院

张晓龙 首都医科大学附属北京安定医院

张纪阳 复旦大学附属中山医院

参考文献

- [1] 葛东雷,高卿云.“元宇宙”的来源、成因与语法特征[J].语文建设,2023(08):73-75.
- [2] 马鑫,王芳元.宇宙的概念、技术、应用与影响——一项系统性文献综述[J].图书情报工作.2023,67(18):113-128.
- [3] 《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023—2025年）》
[EB/OL].(2023-08-29)[2024-12-13].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202309/content_6903023.htm
- [4] 王婧.国外元宇宙发展布局及对我国的启示[N].中国计算机报,2023-3-6,(13).
- [5] 欧盟两部重磅数字法案落地,线上平台迎强监管
[EB/OL].(2022-11-10)[2024-12-13]<https://www.yicai.com/news/101589947.html>
- [6] 欧盟《数字服务法案》《数字市场法案》提案与欧洲平台监管走向
[EB/OL].(2020-12-26)[2024-12-13]<https://www.secrss.com/articles/28304>
- [7] 韩国元宇宙新产业先导战略概述
[EB/OL].(2022-06-13)[2024-12-13].<https://www.secrss.com/articles/43458>
- [8] 韩国:到2026年实现元宇宙全球市场占有率第五
[EB/OL].(2022-01-20)[2024-12-13]<https://finance.sina.com.cn/tech/2022-01-20/doc-ikyakmy1563124.shtml>
- [9] 韩国政府力挺元宇宙:打造元宇宙城市,出台五年规划
[EB/OL].(2021-12-03)[2024-12-13].<https://www.panewslab.com/zh/articledetails/D61916759.html>
- [10] 刘晓燕.日本元宇宙发展现状[J].全球科技经济瞭望,2023,38(7):49-52.
- [11] Dubai Metaverse
Strategy[EB/OL].(2023-11-07)[2024-12-13].<https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiative-s-and-awards/strategies-plans-and-visions/government-services-and-digital-transformation/dubai-metaverse-strategy>
- [12] Law No. (4) of 2022 Regulating Virtual Assets in the Emirate of Dubai[EB/OL].(2022-2-28)[2024-12-13]<https://rulebooks.vara.ae/rulebook/law-no-4-2022-regulating-virtual-assets-emirate-dubai>
- [13] UAE Set to Launch the First Metaverse
Hospital[EB/OL].(2022-08-26)[2024-12-13].<https://www.magazine.medicaltourism.com/article/uae-set-to-launch-the-first-metaverse-hospital>
- [14] 《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023—2025年）》
[EB/OL].(2023-8-29)[2024-12-13].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202309/content_6903023.htm
- [15] 《关于推动未来产业创新发展的实施意见》
[EB/OL].(2024-1-18)[2024-12-13].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202401/content_6929021.htm
- [16] 《北京城市副中心元宇宙创新发展行动计划（2022-2024年）》
[EB/OL].(2024-8-24)[2024-12-13].<https://www.bjtz.gov.cn/bjtz/jdhy/202208/1612429.shtml>
- [17] 《上海市培育“元宇宙”新赛道行动方案（2022—2025年）》
[EB/OL].(2022-7-20)[2024-12-13].<https://www.shanghai.gov.cn/202214bgtwj/20220720/90a>

a73b046464b9c8799ef2339026d7d.html

- [18] 《浙江省元宇宙产业发展 2023 年工作要点》发布
[EB/OL].(2023-4-25)[2024-12-13].https://dsj.guizhou.gov.cn/xwzx/gnyw/202304/t20230425_79327498.html
- [19] 《关于印发山东省医养健康产业发展规划（2023-2027 年）的通知》
[EB/OL].(2023-9-20)[2024-12-13].http://www.shandong.gov.cn/art/2023/10/24/art_100623_43422.html
- [20] 钟霖,董尚灵,方小玲,张震中[J].五行 VR 技术治疗慢性失眠肝郁证患者临床观察[J].浙江中西医结合杂志.2024 ,34 (02):135-137.
- [21] 王晓峰,孙元强,潘雪峰.基于 VR/AR 技术的鼻内镜下泪囊鼻腔吻合手术虚拟培训系统的临床应用效果分析[J].中国医刊 . 2024 ,59 (03) :341-343.
- [22] 赵彩云,张震中.虚拟现实 VR 技术治疗失眠症的临床研究[C].2018 年浙江省神经病学学术年会论文汇编,2018.
- [23] 国家药品监督管理局-境内医疗器械注册-数据查询
[EB/OL].(2024-12-13).<https://www.nmpa.gov.cn/datasearch/search-result.html>
- [24] 马鑫,王芳元.宇宙的概念、技术、应用与影响——一项系统性文献综述[J].图书情报工作.2023 ,67 (18):113-128.
- [25] 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.
- [26] 以 5G+AR 技术为引擎 推动公立医院改革新篇章——余姚市人民医院探索数字化转型,引领区域急救医疗服务升级[J].卫生经济研究 . 2024 ,41 (10):95-96.
- [27] 业内探索元宇宙医疗 “无界” 智能虚拟元诊室发布
[EB/OL].(2023-11-6)[2024-12-13].<http://finance.people.com.cn/n1/2023/1106/c1004-40111473.html>
- [28] Yahan Yang , Junfeng Lyu , Ruixin Wang, et al. A digital mask to safeguard patient privacy[J].Nat Med. 2022 ,28(9):1883-1892.
- [29] Gianmarco Randazzo,Giuseppe Reitano,Filippo Carletti,et al.Urology:a trip into metaverse[J].World J Urol .2023;41(10):2647-2657.
- [30] 元宇宙赋能疾病诊治：未来虚实融合的就诊场景
[EB/OL].(2022-12-20)[2024-12-13].<https://www.cn-healthcare.com/articlewm/20221220/content-1486511.html>
- [31] 全球首个！我国研发的“Digital Mask”技术，实现患者面部图像去身份化
[EB/OL].(2022-09-16)[2024-12-13].<https://www.familydoctor.com.cn/news/a/202209/2844488.html>
- [32] Tzu-Chi Wu,Chien-Ta Bruce Ho.A scoping review of metaverse in emergency medicine[J].Australas Emerg Care,2023 (1):75-83.
- [33] Marco M Fontanella.The neurosurgery of the metaverse[J].J Neurosurg Sci,2022 Oct;66(5):387-388.
- [34] 动脉网.《中国数字疗法行业白皮书》（2021 版）[R/OL]. (2021-4-21) [2024-12-13]
- [35] Thomas J Caruso, Alexandria George, Maria Menendez ,er al.Virtual reality during pediatric vascular access: A pragmatic, prospective randomized, controlled trial[J].Paediatr Anaesth,2020 Feb;30(2):116-123.
- [36] 身心「沉浸」虚拟实境 帮助儿童轻松就医
[EB/OL].(2022-8-4)[2024-12-13].<https://www.nur.cuhk.edu.hk/>

- [37] Henry Xiang , Jiabin Shen, Krista K Wheeler,et al.Efficacy of Smartphone Active and Passive Virtual Reality Distraction vs Standard Care on Burn Pain Among Pediatric Patients: A Randomized Clinical Trial[J]JAMA Netw Open,2021,4(6):e2112082..
- [38] 用 XR + 数字疗法治疗慢性腰痛, “AppliedVR” 已累计融资 7100 万美元 [EB/OL].(2023-1-30)[2024-12-13].<https://news.qq.com/rain/a/20230130A06JXU00>
- [39] 虚拟现实疗法设计个性化治疗恐惧症或创伤综合征患者 [EB/OL].(2023-4-10)[2024-12-13].https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_22637342
- [40] 瞄准 3 亿人失眠问题: 首个基于 VR 用于睡眠障碍辅助治疗的数字疗法获批 [EB/OL].(2023-10-10)[2014-12-13].https://www.sohu.com/a/727015819_120178509
- [41] 用 VR 治疗儿童弱视, A 轮融资 1600 万美元, 它推出首个 FDA 批准的弱视儿童数字疗法[EB/OL].(2023-8-5)[2014-12-13].<https://news.qq.com/rain/a/20230805A00XZX00>
- [42] Kabir Matwala,Taner Shakir, Chetan Bhan,Manish Chand.The surgical metaverse[J].Cir Esp (Engl Ed),2024,102(1):S61-S65.
- [43] 徐文博,穆兰.元宇宙医学在血管腔内介入治疗中的应用现状与未来[J].介入放射学杂志 2024,33(1):86-89.
- [44] Enrico Checcucci , Alessandro Veccia,Stefano Puliatti,et al.Metaverse in surgery - origins and future potential[J].Nat Rev Urol, 2024
- [45] Kabir Matwala,Taner Shakir, Chetan Bhan,Manish Chand.The surgical metaverse[J].Cir Esp (Engl Ed),2024,102(1):S61-S65.
- [46] Nicholas A Elmer,Natalie Hassell,Carly D Comer,et al.Plastic Surgery in the Metaverse[J].Plast Surg (Oakv), 2024,32(2):355-356.
- [47] Gianmarco Randazzo,Giuseppe Reitano,Filippo Carletti,et al.Urology: a trip into metaverse[J].World J Urol2023 Oct;41(10):2647-2657.
- [48] Thomas J Caruso, Alexandria George, Maria Menendez,et al.Virtual reality during pediatric vascular access: A pragmatic, prospective randomized, controlled trial[J].Paediatr Anaesth,2020 Feb;30(2):116-123.
- [49] Ioannis Skalidis,Olivier Muller, Stephane Fournier,et al.CardioVerse: The cardiovascular medicine in the era of Metaverse[J].Trends Cardiovasc Med,2023,33(8):471-476.
- [50] Kabir Matwala, Taner Shakir, Chetan Bhan ,et al.The surgical metaverse[J].Cir Esp (Engl Ed) 2024,102(1):S61-S65.
- [51] Yingchun Zeng,Linghui Zeng,Chong Zhang,et al.The metaverse in cancer care: Applications and challenges[J].Asia Pac J Oncol Nurs,2022 Jul 5;9(12):100111.
- [52] 超 4000 个案例, 这家公司成功将 AR 眼镜用于脊柱手术 [EB/OL].(2023-8-16)[2014-12-13].<https://news.qq.com/rain/a/20230816A080UU00>
- [53] Sidney Roberts,Aditya Desa,Enrico Checcucci,et al."Augmented reality" applications in urology: a systematic review[J].Minerva Urol Nephrol,. 2022,74(5):528-537.
- [54] 5G+VR 远程看诊、探视! 圆周率为“智慧医院”. 赋能 [EB/OL].(2022-01-21)[2024-12-13].https://www.sohu.com/a/518066284_120670006
- [55] Bingquan Zhu,Chen Zhang,Yanan Su.Face Motion Preserve: a generative approach for facial de-identification and medical information preservation[R].<https://www.nature.com/articles/s41598-024-67989-5-report>. Accessed 27 July 2024.
- [56] Yahan Yang, Junfeng Lyu, Ruixin Wang,et al.A digital mask to safeguard patient privacy[R] . <http://www.nature.com/articles/s41591-022-01966-1-report>. Accessed 15 September 2022.

- [57] Brindusa Vanta, MD, DHMHS. Is the Metaverse Hospital the Future of Healthcare?[EB/OL]. (2023-03-22)[2024-12-13]<https://healthnews.com/family-health/healthy-living/is-the-metaverse-hospital-the-future-of-healthcare>.
- [58] Massimo Massetti, Giovanni Alfonso Chiariello. The metaverse in medicine[J]. Eur Heart J Suppl. 2023;25(Suppl B):B104-B107.
- [59] 董英,刘笑宇,唐敏,樊瑜波.应用虚拟盒块测试系统评估脑卒中患者上肢运动功能的可行性研究[J].医用生物力学,2023,4:763-769.
- [60] Botelho S, Martinho NM, Silva VR, Marques J, Carvalho LC, Riccetto C. Virtual reality: a proposal for pelvic floor muscle training. Int Urogynecol J. 2015;26(11):1709 – 1712.
- [61] Dumoulin C, Cacciari LP, Hay-Smith EJC. Pelvic floor muscle training versus no treatment, or inactive control treatments, for urinary incontinence in women. Cochrane Database Syst Rev. 2018;10(10):5654.
- [62] Ioannis Skolidis, Olivier Muller, Stephane Fournier, et al. Feasibility of Using the Metaverse as Telecardiology Platform: Remote Follow-up of a Patient With Vasospastic Angina.[J]. Can J Cardiol, 2022, 38(11):1768-1769.
- [63] Ge Wang, Andreu Badal, Xun Jia, et al. Development of metaverse for intelligent healthcare[J]. Nat Mach Intell, 2022 Nov; 4(11):922-929.
- [64] 在生命科学与医疗行业，虚拟孪生如何超越数字孪生？
[EB/OL]. <https://www.3ds.com/zh-hans/virtual-twin/life-sciences-healthcare>
- [65] Rebecca K Walters, Ella M Gale, Jonathan Barnoud et al. The emerging potential of interactive virtual reality in drug[J]. Expert Opin Drug Discov. 2022, 17(7):685-698.
- [66] VR + 化学：化学家用 VR 可视化药物分子结构 帮助新药研发
[EB/OL]. (2018-09-05)[2024-12-13]. <https://www.antpedia.com/news/82/n-2245282.html>
- [67] “让电子小人吃电子药”，虚拟临床试验带来药物研发新范式
[EB/OL]. (2024-04-10)[2024-12-13]. https://www.sohu.com/a/770535584_121118877.
- [68] 给虚拟病人试药，数字孪生模型“算”出“新药”来
[EB/OL]. (2024-4-9)[2024-12-13]. <https://www.yicai.com/news/102059424.html>.
- [69] Bokyung Kye, Nara Han, Eunji Kim, et al. Educational applications of metaverse: possibilities and limitations.[J]. J Educ Eval Health Prof, 2021, 18(32):1-13.
- [70] 郑郁婕, 孙梦婷, 白春学, 杨达伟, 等. BRM 一体机应用于控烟[J]. 元宇宙医学, 2024, 1(1): 82-88.
- [71] Siobhan O'Connor. Virtual Reality and Avatars in Health care[J]. Clin Nurs Res, 2019, 28(5):523-528.
- [72] Bokyung Kye, Nara Han, Eunji Kim, et al. Educational applications of metaverse: possibilities and limitations[J]. J Educ Eval Health Prof, 2021, 18(32):1-13.
- [73] T J Ford, Derrick M Buchanan, Azeezat Azeez, et al. Taking modern psychiatry into the metaverse: Integrating augmented, virtual, and mixed reality technologies into psychiatric care[J]. Front Digit Health, 2023, (24):5:1146806.
- [74] Ioannis Skolidis, Olivier Muller, Stephane Fournier. CardioVerse: The cardiovascular medicine in the era of Metaverse[J]. Trends Cardiovasc, 2023, 33(8):471-476.
- [75] Chi Zhang, Shuyan Feng, Ruonan He, et al. Gastroenterology in the Metaverse: The dawn of a new era?[J]. Front Med (Lausanne), 2022, 9:904566.
- [76] Ting Fang Tan, Yong Li, Jane Sujuan Lim, et al. Metaverse and Virtual Health Care in Ophthalmology: Opportunities and Challenges[J]. Asia Pac J Ophthalmol (Phila),

2022,11(3):237-246.

- [77] 孙海燕等. 数字孪生技术在智慧医院建设中的思考和探索 [EB/OL].(2022-08-27)[2024-12-13].https://www.sohu.com/a/580374010_121118853
- [78] Erin M Kane, James J Scheulen, Adrian Püttgen, et al. Use of Systems Engineering to Design a Hospital Command Center[J]. Jt Comm J Qual Patient Saf, 2019,45(5):370-379.
- [79] 王文喜等. 元宇宙技术综述[J]. 工程科学学报, 2022,44(4):744-756.
- [80] 邹衍. 元宇宙对财务管理和财务管理人才需求的影响[J]. 金融博览, 2023(2): 50-52.
- [81] 设备管理大视野. 探元宇宙与设备智能运维管理 [EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/rB2gC5cLzV-Q5Fp3OLGatg>, 2023-06-30.
- [82] 道和智信. 元宇宙与数字孪生的区别、对智慧安防的影响 [EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/lqpajm8c-9awkBH0pkeBbA>, 2023-07-14.
- [83] 李杏, 赵亮, 闫晓丽等. 基于 BIM 数字孪生技术的医院后勤成本智慧化管理探索[J]. 中国总会计师, 2023(6):108-111.
- [84] 王绍源, 刘瑞娜. 元宇宙医学应用的伦理困境与治理原则.[J]. 中国卫生事业管理, 2024,41(2):171-175.
- [85] “元宇宙”的规制理论构建及中国方案 [EB/OL].(2022-12-8)[2024-12-13].https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_21076328
- [86] How Passion for Playing World of Warcraft Predicts In-Game Social Capital, Loneliness, and Wellbeing[J]. Front Psychol, 2020,11:2165.
- [87] Impulsivity and Alexithymia in Virtual Worlds: A Study on Players of World of Warcraft[J]. Clin Neuropsychiatry, 2019,16(3):127-134.
- [88] 江旻: 虚拟临床试验突破旧有范式“天花板” [EB/OL].(2024-3-29)[2024-12-13].<https://medical.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2024/3/369611.shtml>
- [89] 虚拟临床试验: 药物研发的“加速器” [EB/OL].(2024-03-29)[2024-12-13].<https://www.163.com/dy/article/IUFE6FHM0514CDBK.html>
- [90] 可陪诊的数字人诞生, 亚运同款数字人技术走进医疗 [EB/OL].(2023-11-17)[2024-12-13]<https://health.sina.com.cn/news/2023-11-17/doc-imzuwuqu5896644.shtml>
- [91] 全球首次! 武汉协和医院成功创建新冠肺炎混合现实医学影像 [EB/OL](2020-04-03)[2024-12-13]https://www.sohu.com/a/385361908_120479147