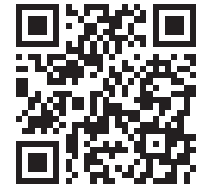


DOI: 10.61189/973490kwuyfr

· 医学教育 ·

元宇宙创新模式在耳鼻咽喉科临床及教学中的应用 现状与建设思路

周雷¹, 张雯², 于浩然¹, 李光耀¹, 高丽¹, 黄新生¹, 余情^{2*}

1. 复旦大学附属中山医院耳鼻咽喉头颈外科, 上海 200032

2. 复旦大学附属中山医院教育处, 上海 200032

[摘要] 随着元宇宙技术进步及头显设备的成功商业化, 元宇宙在医学教育领域的应用前景日益凸显。本文系统综述了耳鼻咽喉头颈外科元宇宙应用的最新进展, 并提出专科建设思路。VR手术模拟器、3D打印联合VR技术等能显著提升学员考核成绩和操作信心, 优化手眼协调与空间感知能力。AR显微镜系统通过手势识别实现免接触交互, 可提高手术效率。AR导航平台在颅颌面手术中展现出实时3D可视化优势, VR和360°视频培训有效提升了低年资医师的前鼻孔填塞技能。VR辅助扁桃体周围脓肿引流教学显著提高了医学生的结构化临床考试评分、操作信心和参与度。经口机器人手术中整合3D虚拟模型与图像叠加技术, 为图像引导手术提供了实用价值。VR技术能有效缓解耳鼻喉科手术患者的疼痛和焦虑, 提高满意度, 并可作为非药物干预手段减少阿片类药物使用。VR联合可穿戴设备可降低术后阿片用量, VR前庭康复训练能提高耳石症患者的治疗依从性和生活质量。VR已成为ENT数字化教学的创新组成部分, 在解剖、生理与病理教学中展现出与传统方法等效甚至更佳的效果。基于上述进展, 本文提出依托“复旦中山惠生智育”元宇宙平台, 建设耳鼻咽喉专科教学体系的思路: 构建高保真三维数字孪生模型与结构化病例资源库, 形成覆盖院校教育、毕业后教育和继续医学教育的分层培养路径, 促进优质教学资源下沉与共享, 推动国内耳鼻咽喉医学教育的创新发展。

[关键词] 全周期医学教育; 培训与管理; 复旦中山惠生智育; 元宇宙平台; 虚拟现实

[中图分类号] R 856.76 **[文献标志码]** A

Current applications and development strategies of metaverse innovation models in otolaryngology clinical practice and education

Zhou Lei¹, Zhang Wen², Yu Haoran¹, Li Guangyao¹, Gao Li¹, Huang Xinsheng¹, Yu Qing^{2*}

1. Department of Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

2. Department of Education, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

[Abstract] With the advancement of metaverse technology and the successful commercialization of head-mounted displays, the application prospects of the metaverse in medical education are increasingly prominent. This article systematically reviews the latest advancements in the application of the metaverse in otolaryngology and head and neck surgery, and proposes ideas for specialty construction. VR surgical simulators, 3D printing combined with VR technology, can significantly improve trainee assessment scores and operational confidence, optimizing hand-eye coordination and spatial perception abilities. AR microscope systems enable contactless interaction through gesture recognition, enhancing surgical efficiency. AR navigation platforms demonstrate real-time 3D visualization advantages in craniofacial surgery, and VR and 360° video training effectively improve the anterior nares packing skills of junior doctors. VR-assisted teaching for peritonsillar abscess drainage significantly enhances medical students' structured clinical examination scores, operational confidence, and engagement. Integrating 3D virtual models and image overlay technology in transoral

[收稿日期] 2026-04-25

[接受日期] 2026-05-30

[基金项目] 国家自然科学基金(82000980, 82401356), 上海市科学技术委员会项目(23SHS05000-01, 23SHS05000-03), 上海市卫生健康委员会2026年卫生健康行业发展课题(定向类)(2026HP30), 上海申康医院发展中心管理研究项目(2025SKMR-21), 高等教育科学研究规划课题(24CX0201), 复旦大学附属中山医院管理科学基金(2024ZSGL14), 复旦大学医工结合项目(XM03241807)。Supported by National Natural Science Foundation of China (82000980, 82401356), Shanghai Science and Technology Commission Projects (23SHS05000-01, 23SHS05000-03), Shanghai Municipal Health Commission's 2026 Health Industry Development Project (Directional) (2026HP30), Shanghai Shengkang Hospital Development Center Management Research Project (2025SKMR-21), Higher Education Science Research Planning Project (24CX0201), Management Science Foundation of Zhongshan Hospital, Fudan University (2024ZSGL14), Medical-Engineering Integration Project of Fudan University (XM03241807).

[作者简介] 周雷, 硕士, 主治医师; E-mail: zhou.lei@zs-hospital.sh.cn

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

robotic surgery provides practical value for image-guided surgery. VR technology can effectively alleviate pain and anxiety in patients undergoing otolaryngological surgery, improve satisfaction, and serve as a non-pharmacological intervention to reduce opioid use. VR combined with wearable devices can reduce postoperative opioid consumption, and VR vestibular rehabilitation training can enhance treatment compliance and quality of life for patients with otolith disorders. VR has become an innovative component of ENT digital teaching, demonstrating equivalent or even superior effects compared to traditional methods in anatomy, physiology, and pathology teaching. Based on these advancements, this article proposes the idea of relying on the "Fudan Zhongshan Huisheng Zhiyu" metaverse platform to build a specialized teaching system for otolaryngology: constructing high-fidelity 3D digital twin models and a structured case resource library, forming a tiered training path covering institutional education, post-graduation education, and continuing medical education, promoting the dissemination and sharing of high-quality teaching resources, and driving the innovative development of otolaryngology medical education in China.

[Key Words] full-cycle medical education; training and management; Fudan Zhongshan Huisheng Zhiyu; metaverse platform; virtual reality

随着性能愈发强大的头显,如 Oculus Meta Quest、雷鸟、Pico、HTC Vive、索尼、苹果头显等的成功商业应用,虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、区块链,人工智能(AI)等科技手段的进步。元宇宙的概念逐渐被人们更多地提及,我们也比以往任何时候都更加接近元宇宙的普及应用。而正如罗德里格兹执导的电影《阿丽塔》所描述的场景,元宇宙可以让我们在其中沉浸式、低成本、低危险地实践并实现高复杂技能的快速掌握^[1]。虚拟现实已明确显示出了在辅助学习上的强大助力^[2-4]。然而,目前仍处于元宇宙建立的初始阶段,技术手段、应用场景和法律法规仍在不断地探索和完善之中。其中,针对医学应用的医学教育和模拟手术场景应是医学教育中极其重要的一环^[5]。Hudise等^[6]在一篇综述中纳入了6项针对医学生的随机对照(RCT)试验(来自丹麦和澳大利亚),研究使用了 Visible Ear Simulator、MediseusVR 外科钻磨模拟器和 Geomagic 触觉设备等平台。结果表明,VR 训练有望改善耳鼻喉手术中的手眼协调、空间感知和手术表现,但与传统方法相比的优越性结论不一,部分研究显示无显著差异。总体而言,VR 提供可控、无风险的训练环境,可能增强 ENT 外科技能的习得和保持,但需进一步研究以确立其有效性并探索在手术教学中的更广泛应用。

但遗憾的是,先一步建立的如手术仿真平台由大公司掌握,其手术模拟平台售价动辄 100 万元以上^[7],并非普通单位和机构所能承担,而高级医疗单位亦不缺乏相关训练和实践的机会。导致最该需要获得训练的中层和基层医生得不到有效的训练。优秀学习资源得不到有效地下沉,由于技术瓶颈,且需要专业人员的参与,新应用的开发活力亦受到限制。

随着国内科技的发展,增加高质量教学资源的

可及性应是新时代毕业后医学教育的努力出发点。我们应大力探索和支持本土元宇宙应用和技术的发展。医学教育和实践,以复杂、高精确性和容错率低为特点,其内容的提供需要依赖专业人士。而元宇宙应用的建立,需要工程技术人员的支持,因此,其本身高度依赖资源和技术。而一旦不以营利为目的去开发产品,可能会最终导致项目的落地十分困难,且产品的最终维护亦是一个重要的资金投入点。因此,其中的平衡需要医学教育从业者和科研人员的多方努力和推动。为进一步探索行之有效的方法,本文总结了近些年与耳鼻咽喉科相关的元宇宙项目,并提出元宇宙建设的思路,力争促进和进一步推动国内相关领域的发展。

1 解剖及手术学习相关的元宇宙应用

1.1 耳科元宇宙应用 人耳结构精密,功能复杂,解剖学习难度大、门槛高,元宇宙技术的进步毫无疑问地促进了耳科学的发展。Binnersley等^[1]探讨了新手学员使用VR颞骨钻磨模拟器进行外科技能习得的影响因素。研究对象在8个月内完成16次、每次3小时的Voxel-Man TempoSurg虚拟乳突切除术训练。结果表明VR颞骨钻磨模拟器有助于优化培训项目设计和学习体验。杨媛媛等^[8]报道了一个自研、且拥有完全自主知识产权的耳内镜手术虚拟仿真训练系统,具有广泛的应用前景。李兴程等^[9]选取2020年1月至2024年12月在郑州大学第一附属医院耳科临床医学专业的本科实习生及住培医师共50名作为研究对象,并随机分为研究组和对照组,各25名。研究组采用3D打印教具联合VR技术进行教学,对照组则采用传统的临床实践教学法。通过客观结构化临床考试(OSCE)和自制问卷,对2组的学习效果、教学效果和满意度进行评估。结果显示研究组学员的基础理论成绩、临床技能考核成

绩以及 OSCE 总分均高于对照组; 研究组学员的各项教学效果评分均高于对照组; 研究组的教学满意度高于对照组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。表明在耳科手术技能训练中应用 3D 打印联合 VR 技术进行教学, 能够提高学员的考核成绩, 提升教学效果, 且获得较高的教学满意度。

Lamtara 等^[10]通过分析不同解剖结构虚拟颞骨上的学习曲线, 评估 VR 模拟在传统外科培训中的效果。将 30 名参与者分为 3 组 (10 名医学生/新手、10 名耳鼻喉科住院医师/中级、10 名高年资耳外科专家/专家), 在墨尔本大学颞骨手术模拟器上对 8 个解剖结构不同的颞骨进行乳突切除术, 由高年资耳鼻喉科医师使用墨尔本乳突切除术评分量表 (MMS) 评估。结果显示, 除中级与专家组平均力度比较外, 所有绩效指标 (MMS 评分、操作次数、平均力度、钻磨时间、总时间) 在 3 组间均存在显著差异。组内分析显示, 专家组总时间和钻磨时间、中级组平均力度、新手组总时间存在显著差异; 中级组个体学习曲线呈现多样化学习行为。结果表明, 经过 8 次不同解剖结构标本重复训练, 学员表现仍未达到专家水平, 提示需通过个性化反馈和增加重复次数优化技能习得。Everad 等^[11]评估了 VR 颞骨模型与标准塑料模型在耳鼻喉科住院医师培训中的学习效果差异。来自 2 所德国大学医院的耳鼻喉科住院医师和专科医师分别接受 VR 或塑料模型培训, 通过颞骨解剖知识测试进行客观评估, 并进行 VR 培训前后知识对比及主观体验调查。结果显示, 85% 参与者认为 VR 优于传统模型, 是教授复杂解剖的有用工具; 客观评估显示 VR 培训后知识显著提高, 尤其在已有知识水平较高的参与者中; 但与塑料模型直接比较时 VR 未显示优越性。研究表明, VR 模型不仅具有吸引力和激励作用, 且能客观提升住院医师解剖知识 (尤其是高级住院医师), 同时相比塑料模型具有进一步优化开发的潜力。

Chemaly 等^[12]开发并评估了基于手势识别和手部追踪的免接触交互技术, 用于耳显微外科 AR 显微镜系统, 以减少术中操作中断并保持无菌环境。方法采用电磁追踪手术显微镜, 通过定制 3D 打印校准板实现术前 CT 分割虚拟模型与显微镜视频流的叠加增强; 集成 Ultraleap Leap Motion Controller 2 实现手部追踪功能, 收集外科医师开发阶段反馈, 并让用户完成虚拟模型交互、物理目标配准及 AR 可视化调整等任务。结果显示, 基于观察和用户反馈升级后的手部交互系统被认为对手术流程干扰最小、虚拟内容交互更直观。表明将头戴显示器

(HMD) 常用的手势交互概念整合到耳显微外科 AR 立体显微镜系统中, 展现了更有利的人机交互方式, 有望提高显微 AR 引导下手术任务的执行效率。Lai 等^[13]研究评估了中颅窝 (MCF) 入路 VR 模拟的效度及连续模拟中的效度变化。使用 CardinalSim 软件基于高分辨率人体尸体数据集构建高保真视觉和触觉渲染 MCF 入路模拟, 来自 2 所加拿大学术中心的神经外科和耳鼻喉头颈外科住院医师进行 MCF 解剖操作。结果显示, 表面效度和内容效度在各领域均已达到; 而结构效度未确立 (因所有学员均无 MCF 入路经验)。模拟后测试成绩显著高于模拟前 ($P < 0.001$); 学员在完成解剖时间、内听道轮廓化、岩骨切除的完整性及关键结构损伤减少等方面均显著改善 ($P < 0.001$ 或 $P = 0.001$)。结论表明, 该 MCF VR 模拟具有表面效度和内容效度, 虽然结构效度未确立, 但进一步强调了模拟训练的重要性, 作为形成性教育辅助工具有助于增强对复杂神经血管解剖关系的理解。Frendø 等^[14]进行了一项 RCT 试验, 评估了在 VR 模拟训练中加入人工耳蜗植入操作对后续尸体解剖表现及自主学习能力的影 响。18 名耳鼻喉科住院医师被随机分为两组, 均在尸体操作前接受 VR 训练: 干预组接受乳突切除术加人工耳蜗植入的 VR 训练, 对照组仅接受乳突切除术 VR 训练。结果显示, 干预组在尸体解剖中的平均得分 (22.9/44) 略高于对照组 (21.8), 但差异无统计学意义 ($P = 0.51$); 干预组平均需要指导 1.3 次, 对照组为 1.9 次 (减少 41%), 亦无显著差异 ($P = 0.21$)。研究认为, 在尸体解剖课程中引入人工耳蜗植入 VR 模拟训练是可行的, 但相较于单纯乳突切除术训练, 增加此项训练并未显著提升手术表现或自主学习能力。这表明掌握人工耳蜗植入这类高级颞骨手术需要比学习乳突切除术更为充分的训练。

1.2 鼻科元宇宙应用 与耳科学类似, 鼻窦的解剖结构亦十分复杂, 尤其变异众多, 且毗邻眼眶和颅底, 也是通往前颅底的重要解剖通道, 是一个十分热门的应用领域。Priel 等^[15]研究开发并评估了一种新型 VR 工具, 用于增强泪囊鼻腔吻合术 (DCR) 患者对鼻部解剖结构的理解。研究将 10 例术前眼眶 CT 扫描数据通过 D2P 软件进行组织分割 (包括颅骨、泪囊、鼻中隔、下鼻甲和中鼻甲), 生成 3D 模型并通过 VR 头显可视化。6 名耳鼻喉科和眼整形外科专家 (含高年资医师和住院医师) 对 VR 模型进行评估。结果显示, 使用 VR 工具时, 耳鼻喉科医师对病变侧别的判断正确率为 73.3%, 显著高于眼科医师的 43.3% ($P = 0.018$); 对鼻中隔偏曲的判断正确率分

别为72.8%和47.2% ($P=0.094$)。高年资医师与住院医师在病变判断上无显著差异(60% vs 57.7%, $P=0.853$),但高年资医师对鼻中隔偏曲的判断正确率更高(81.7% vs 58.3%, $P=0.198$)。研究表明,耳鼻喉科医师和高年资医师的CT解读能力优于眼科医师和住院医师,但VR系统并未显著提升其解读准确性,未来需进一步优化VR系统以辅助DCR手术的术前和术中CT解读。

Strong等^[16]在一项多中心回顾性病例系列研究中开发了基于Microsoft HoloLens 2用于颅颌面(CMF)及头颈外科的AR导航平台,并评估其临床应用价值。研究纳入33例病例(创伤、正颌、肿瘤、颅面畸形),结果显示AR平台相较传统导航具有实时3D手术计划可视化、关键结构识别及实时追踪等优势。该研究首次报道了AR在中面部截骨术器械追踪、颧上颌复合体骨折复位追踪、正颌手术下颌追踪、腓骨截骨导板及红外血管实时可视化等方面的应用。结论认为,尽管技术仍在发展中,AR导航为CMF及头颈外科提供了抬头交互式3D可视化、关键解剖识别和实时追踪等显著优势。Mould等^[17]研究开发并评估了针对低年资医师的新型VR和360°视频前鼻孔填塞培训方案。研究将16名低年资医师随机分为3组:单纯VR模拟、单纯360°视频、视频+VR模拟联合组,通过专家共识设计干预前后问卷,评估信心、能力、客观知识、可用性、表面效率、内容效率及定性数据。结果显示,整体队列在干预后信心、能力和知识均显著提高;360°视频单独使用及联合VR使用均被认为用户友好;所有方案均达到内容效率,但VR模拟未达表面效率,反馈提示触觉反馈需改进。参与者认为培训方案具有吸引力和沉浸感,能以愉快方式鼓励安全实践。结论表明,新型VR和360°视频是有效提升前鼻填塞信心、能力和知识的沉浸式方法,未来需改进VR模拟器的触觉反馈以增强真实感。

Espinell等^[18]研究并开发了一种无需外部追踪设备的内镜经鼻手术AR新方法,可显示与手术相关的隐藏解剖结构。方法通过两阶段ICP配准算法,将术前鼻腔3D模型与术中3D模型进行刚性缩放变换,再将隐藏结构从术前模型转移至术中模型并投影叠加到内镜图像中。对12例临床病例进行定性和定量验证。定性由耳鼻喉科医师目视检查增强图像中的隐藏结构,定量采用新型透照法测量目标配准误差。结果显示,大多数病例目标隐藏结构均在预期位置实现增强。结论表明,当术中鼻腔相对于术前状态无明显变形时,该方法能以足够精

度增强内镜图像,是迈向无追踪器经鼻内镜手术AR的重要一步。Ruggiero等^[19]评估了HoloLens 2 AR头显在儿科前额眶部重塑术中的精度。研究由3名外科医生和3名工程师在3D打印模型上完成截骨操作。结果显示,大多数操作者在 ± 1.5 mm精度下能成功完成截骨操作;鼻部截骨的成功率高于额部截骨。尽管是体外研究,作者认为AR技术在临床患者中的应用前景令人鼓舞。

1.3 咽喉科元宇宙应用 尽管相较于耳科和鼻科,咽喉部结构尺寸更大,更容易教学,但亦能够通过元宇宙应用而提高教学效果。McCormick等^[20]进行了RCT试验评估了VR作为三年级医学生扁桃腺周围脓肿引流辅助教学工具的效果。将20名学生随机分为VR教学组和传统教学组,各接受90分钟培训后进行OSCE考试及知识测试。VR组使用HTC Vive Focus 3头显及Virtu、3D Organon和EXR平台。结果显示,VR组OSCE评分显著更高(26.9 vs 21.5, $P=0.005$),操作信心($P=0.008$)和参与度($P=0.003$)更强;两组知识均显著改善($P<0.001$),但课后无显著差异($P=0.701$)。VR有效性评分9.6/10,沉浸感8.5/10,晕动症仅1.8/10。表明VR能显著增强操作信心和表现,其沉浸式形式支持融入外科教育,值得在更大规模研究中进一步验证。Chan等^[21]探讨了在经口机器人手术(TORS)中整合3D虚拟模型与成像技术以实现图像引导手术的应用。在尸体实验中,研究团队将3D虚拟模型显示于外科医生控制台,并与手术视野叠加,用于口咽部手术。模型通过上颌牙列配准,实现了颈内动脉系统的实时图像叠加,在尸体解剖中呈现了定性准确的实时可视化效果。研究表明,虚拟模型与图像叠加技术在经口机器人手术的头颈部不同部位操作中,对图像引导手术具有实用价值。

2 对缓解围手术期疼痛和焦虑的影响

由于VR头显能够提供身临其境的真实感,因此十分有助于提升参与者在AR场景中的参与度和沉浸感,因此,越来越多的学者探索了VR元宇宙应用在缓解围手术期疼痛和焦虑的作用。Alotaibi等^[22]发起了一项RCT研究,评估了VR技术在成人鼻科手术(如鼻内镜检查)中的镇痛和抗焦虑效果。将64例患者随机分为VR组和对照组,结果显示在鼻内镜检查中使用VR头显观看景色组的疼痛评分显著降低(1.78 vs 2.56, $P<0.01$),患者满意度更高(4.91 vs 4.69, $P<0.05$),93%患者非常满意。焦虑评分虽有下降趋势(15 vs 18.1),但未达统计学意义。

研究表明VR是一种安全有效的非药物镇痛方法,可提升患者舒适度和满意度,但样本量较小且为单中心研究,焦虑缓解效果需进一步验证。Do等^[23]评估了VR干预对耳鼻喉科手术患者焦虑/压力、疼痛和满意度的影响。研究遵循PRISMA方法,检索1994年10月至2024年8月的文献,最终纳入9项RCT共370例患者(182例接受VR干预)。结果显示,VR干预显著降低焦虑/压力($SMD=-0.84, P<0.001$)和疼痛评分($SMD=-0.36, P=0.01$),并显著提高满意度($SMD=0.55, P<0.001$)。结论表明,VR作为非药物干预手段可有效改善耳鼻喉科手术患者的围手术期体验,未来研究可比较VR与其他非药物干预的效果。Amaya等^[24]进行了一项单中心前瞻性RCT评估了基于VR的术前教育工具对6-12岁耳鼻喉科手术患儿及其监护人术前焦虑的影响。研究纳入107对患儿-监护人组合(51例VR组,56例对照组),主要结局为6项状态-特质焦虑量表评估的术前焦虑水平。结果显示,VR组患儿感到平静的几率显著更高($OR=4.95, P<0.001$),感到担忧的几率显著更低($OR=0.25, P<0.001$);监护人结果类似(平静 $OR=3.55, P=0.001$;担忧 $OR=0.45, P=0.03$)。VR组患儿和监护人中重度焦虑发生率均显著低于对照组(OR 分别为0.15和0.14, $P<0.001$)。结论表明,VR术前教育可有效减轻儿科患者及监护人的术前焦虑,有望成为药物镇静的替代方案。Alseneid等^[25]评估了VR在耳鼻喉科及头颈外科手术围手术期护理中的疗效。研究遵循PRISMA 2020指南,检索PubMed、Embase和Cochrane Library至2025年4月,纳入9项研究共527例参与者。结果显示,VR显著降低术后疼痛评分($SMD=-0.41, 95\%CI -0.78$ 至 -0.05),敏感性分析进一步支持该结果($SMD=-0.47$);亚组分析显示儿童人群效应更大($SMD=-0.59$),但未达统计学意义。围手术期焦虑虽有降低趋势($SMD=-0.85$),但未达显著性。患者满意度显著提高($SMD=0.32, P<0.05$)。VR相关不良事件罕见,退出率低,安全性良好,并可能减少阿片类药物使用。结论支持VR作为耳鼻喉科围手术期护理的可行辅助手段,可改善疼痛和满意度,但需更大规模标准化试验验证其长期效果。

3 在康复中的作用

Pandurangi等^[26]进行了一项前瞻性4臂RCT评估了VR和Fitbit可穿戴活动设备在头颈外科手术术后恢复中的应用。研究纳入80例住院头颈手术患者(2021年11月至2022年7月),随机分为对照组、VR

组、Fitbit组和VR+Fitbit联合组。VR组患者每日使用VR头显,Fitbit组佩戴设备并鼓励每日完成2000步,主要结局为平均每日阿片类药物使用量(吗啡毫克当量,MME)。结果显示,仅VR+Fitbit联合组显著降低平均每日阿片用量(8.8 vs 26.4 MME, $P=0.02$);干预组患者住院满意度更高($P=0.02$)。VR实际使用率为提供时间的26%,平均使用时长23.8 min,使用后主观疼痛评分平均降低1.0分,发生3例轻度不良事件(颈部或鼻部不适)。Fitbit组无不良事件,45%天数达成 ≥ 2000 步目标。结论表明,VR和可穿戴活动设备在术后恢复中耐受性良好,可能促进加速康复外科(ERAS)方案的进一步发展,但最大化设备使用仍面临挑战。李广丹等^[27]研究探讨VR技术下前庭康复训练在耳石症眩晕患者倍他司汀片治疗中的作用。86例患者随机分为研究组(VR前庭康复训练)和对照组(常规前庭康复训练)。结果显示,研究组康复训练依从性显著高于对照组($P<0.05$);干预7 d和14 d后,研究组眩晕障碍程度评定量表(DHI)评分、焦虑量表(HADS-A)评分、抑郁量表(HADS-B)评分均低于对照组,前庭疾病日常生活量表(VADL)评分高于对照组($P<0.05$)。研究表明,沉浸式VR前庭康复训练配合倍他司汀片治疗可提高耳石症眩晕患者的训练依从性,缓解眩晕症状,改善生活能力,消除焦虑抑郁情绪,应用效果良好。

4 医学教育相关的元宇宙应用

Offergeld等^[28]评估了VR在ENT数字化教学中的应用效果。2023年夏季学期对180名ENT轮转实习医学生和住院医师进行问卷调查,评估新实施的VR数字教学方法(耳解剖和环甲膜切开术)的满意度和主观有效性。结果显示,学生对ENT教学整体评价良好(平均11.7/15分),但对VR学习有效性和价值的评价存在差异;住院医师的评价更为积极。结论表明,VR是ENT教学组合中的创新组成部分,被视为面向未来的工具。值得注意的是,参与医师一致持积极态度,而学生评价更为批判性,指出了个体和主观层面的局限性,这与学生利益团体对创新教学方法进一步发展的需求形成对比。沙骥超等^[29]以耳鼻咽喉头颈外科学教学中的难点急症教学为例,融合VR能够高保真地再现耳鼻喉相关急诊环境,从而模拟操作情景。以此反复训练,培养医学生紧急情况下分析处理病患的能力,提高学习兴趣和成绩,提高对耳鼻咽喉头颈外科学临床急症应变分析及处理能力。von Schnakenburg

等^[30]评估了VR在耳鼻喉科教学中替代传统解剖模型的可行性。177名学生在一次中耳主题研讨会上被随机分为VR学习组和传统模型学习组。形成性测试结果显示两组差异无统计学意义,但VR组在自我评估知识能力、对教学方法的积极态度以及解剖内容呈现的感知方面均表现出优势。研究结论认为,VR可作为中耳解剖、生理与病理教学的替代方式,其与传统教学方法等效,并展现出在未来教学任务中的巨大潜力。

5 元宇宙设备的舒适性

VR元宇宙应用的建设是传统教学的极大补充,弥补了传统解剖教学和医疗实践中的短板,但我们也不得不注意到,由于现有的虚拟现实设备体积和重量的原因,其佩戴的舒适性以及对虚拟3D空间的前庭不适感,可能会降低人们对沉浸式元宇宙空间的体验感。Du等^[31]探讨了AR眼镜的物理负荷对长时间视频观看任务中主观舒适度的影响。将96名受试者按眼镜使用习惯、性别、年龄和体重指数分组,评估了4种镜架重量下的不适感(鼻部、耳部及整体)。结果显示,随着鼻部物理负荷的增加,各部位的主观不适感均显著上升。此外,非眼镜佩戴者、女性、年长用户以及中等体重指数人群对不适感更为敏感。研究提出,可调宽度、符合人体工学的镜腿和固定重心3项设计干预有助于提升舒适度,为AR眼镜的人体工学设计和可穿戴显示器行业提供了重要参考。

6 耳鼻喉元宇宙建设思路

在“复旦中山惠生智育”元宇宙平台总体框架下,耳鼻喉相关教学版块可作为面向全周期医学教育的重要专科拓展方向,服务于院校医学教育、毕业后医学教育和继续医学教育不同阶段的教学需求。依托平台已形成的医学知识生态系统、虚拟教学场景、综合教学智能体和全周期教学管理中枢,耳鼻喉元宇宙教学内容建设具备了较为完整的资源、技术与管理基础。

耳鼻喉元宇宙建设的重点,在于形成高质量、结构化、可复用的专科教学内容体系,主要包括基于真实解剖结构构建的高保真三维模型与数字孪生模型,以及来源于临床实践、可用于教学设计、情境训练与能力评价的病例资料库。临床一线积累的病例、影像、检查及手术资料,是相关教学场景持续迭代的重要基础。

以耳科为例,基于团队前期在数字孪生相关研

究中的积累,已建立以真实人耳颞骨标本为基础、采用逆向成型方式重建的三维有限元人耳数字孪生模型。结合Blender、Maya等三维建模与渲染工具,可进一步形成适用于元宇宙教学场景的高保真耳科解剖与操作模型;结合有限元参数后,还可模拟不同病变状态下听觉功能变化及其机制,并用于手术重建效果的可视化展示与教学推演。

在应用层面,该教学版块可根据不同培养阶段形成分层使用路径:院校医学教育阶段侧重解剖认知与基础理解,毕业后医学教育阶段侧重专科能力训练与临床思维培养,继续医学教育阶段侧重复杂病例分析、新技术训练和高阶能力提升。在此基础上,可进一步整合耳内镜、颞骨高分辨CT等多模态临床资料,逐步构建耳鼻咽喉专科教学病例资源库、情境任务脚本和学习过程证据链,以促进优质教学资源结构化沉淀与共享应用,为耳鼻咽喉专科人才的分层培养与持续发展提供支撑。

伦理声明 无。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

作者贡献 周雷:论文具体构思与撰写;张雯:论文框架指导;于浩然、李光耀、高丽:文献收集整理;黄新生、余情:论文审核与优化、整体设计与修改。

参考文献

- [1] Binnersley T W, Richards E, Whittaker J D, et al. Virtual reality simulation as a tool for ENT training: an autoethnographic study [J]. *J Surg Educ*, 2025, 82 (4): 103439.
- [2] Bolton W S, Shaikh S, Mathew R K, et al. IDEAL stage 0 evaluation of the use of Epson MOVERIO augmented reality headset in neuroendoscopic procedural training [J]. *Robotics Computer Surgery*, 2026, 22: e70137.
- [3] Srivatsan S, Lee D K, Tran A Q, et al. Trainee experience in virtual reality simulation in orbital surgery [J]. *Orbit*, 2025, 44 (3): 274-280.
- [4] Blanchard J R, Bean T, Koshal S. Augmented reality: a digital transformation tool to enhance the patient consent process in oral surgery [J]. *Br Dent J*, 2025.
- [5] Aweeda M, Adegboye F, Yang S F, et al. Enhancing surgical vision: augmented reality in otolaryngology-head and neck surgery [J]. *J Med Ext Real*, 2024, 1(1): 124-136.
- [6] Hudise J Y, Mojiri M E, Shawish A M, et al. The role of virtual reality in advancing surgical training in otolaryngology: a systematic review [J]. *Cureus*, 2024, 16(10): e71222.
- [7] 巴广益, 茆松, 孙汐文, 等. Voxel-man ENT手术模拟系统在鼻科技能教学中的应用 [J]. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2021, 35(5): 56-61.
- [8] 杨媛媛, 周雅琪, 刘洪宇, 等. 耳内镜虚实结合手术培训系统

- 的研发[J]. 中华耳科学杂志, 2023, 21(2): 277-281.
- [9] 李兴程, 王 漾, 徐 静. 3D打印教具联合VR技术在耳科手术技能训练中的应用[J]. 中国继续医学教育, 2025, 17(10): 144-148.
- [10] Lamtara J C, Wijewickrema S, Gerard J M, et al. Evaluating learning curves in virtual reality cortical mastoidectomy training across expertise levels[J]. *and*, 2025, 46(5): 607-615.
- [11] Everad F, Albrecht T, Kromeier J, et al. A virtual reality anatomy model of the temporal bone in ORL residency training—gain or gadget? [J]. *J Med Educ Curric Dev*, 2024, 11: 23821205241281506.
- [12] El Chemaly T, Athayde Neves C, Fu F R, et al. From microscope to head-mounted display: integrating hand tracking into microsurgical augmented reality [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2024, 19(10): 2023-2029.
- [13] Lai C, Lui J T, de Lotbiniere-Bassett M, et al. Virtual reality simulation for the middle cranial Fossa Approach: a validation study[J]. *Oper Neurosurg*, 2024, 26(1): 78-85.
- [14] Frendø M, Frithioff A, Konge L, et al. Cochlear implant surgery: virtual reality simulation training and transfer of skills to cadaver dissection—a randomized, controlled trial [J]. *J Int Adv Otol*, 2022, 18(3): 219-224.
- [15] Priel A, Hadida Barzilai D, Tejman-Yarden S, et al. Pre-operative planning of a DCR surgery using virtual reality [J]. *Semin Ophthalmol*, 2025, 40(1): 35-38.
- [16] Strong E B, Patel A, Marston A P, et al. Augmented reality navigation in craniomaxillofacial/head and neck surgery [J]. *OTO Open*, 2025, 9(2): e70108.
- [17] Mould H, Kinshuck A, Abbas J R, et al. A feasibility study of virtual reality and 360° video training for anterior nasal packing [J]. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*, 2025, 10(5): e70243.
- [18] Espinel Y, Lombion N, Compagnone L, et al. Preliminary trials of trackerless augmented reality in endoscopic endonasal surgery [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2024, 19(7): 1385-1389.
- [19] Ruggiero F, Cercenelli L, Emiliani N, et al. Preclinical application of augmented reality in pediatric craniofacial surgery: an accuracy study [J]. *J Clin Med*, 2023, 12(7): 2693.
- [20] McCormick M, Jegatheeswaran L, Homer-Vanniasinkam S, et al. Virtual reality meets ENT: a low-cost high-fidelity teaching course for peritonsillar abscess drainage [J]. *J Laryngol Otol*, 2025, 139(10): 990-995.
- [21] Chan J Y K, Holsinger F C, Liu S, et al. Augmented reality for image guidance in transoral robotic surgery [J]. *J Robot Surg*, 2020, 14(4): 579-583.
- [22] Alotaibi N H, Alromaih S, Alshenaifi L, et al. The role of virtual reality in nasal procedures: a randomized controlled trial [J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2026, 88(1): 321-326.
- [23] Do K, Sagalow E S, Kawana E, et al. Virtual reality in otolaryngology patient outcomes: a systematic review and meta-analysis [J]. *Laryngoscope*, 2025, 135(9): 2993-3004.
- [24] Amaya S, Kalsotra S, Yemele Kitio S A, et al. Virtual reality exposure therapy and patient education for preoperative anxiety in pediatrics: randomized controlled trial [J]. *JMIR Perioper Med*, 2025, 8: e73392.
- [25] Alseneid A, Ibrahim M, Alseneid A, et al. Virtual reality for the improvement of perioperative care in otorhinolaryngology-related procedures: a systematic review and meta-analysis [J]. *Cureus*, 2025, 17(5): e84238.
- [26] Pandrangi V C, Araujo A V, Buncke M, et al. Postoperative implementation of virtual reality and wearable devices: opportunities and challenges [J]. *Laryngoscope*, 2025, 135(6): 2044-2050.
- [27] 李广丹, 蔡 丽, 史 夏等. 沉浸式虚拟现实技术下前庭康复训练在耳石症眩晕患者药物治疗期间的效果 [J]. *中国药物滥用防治杂志*, 2024, 30(6): 1030-1034.
- [28] Offergeld C, Kuhn S, Kromeier J, et al. Wird der Einsatz der virtuellen Realität in der HNO-Heilkunde-Lehre von Studierenden automatisch positiv bewertet? : Eine Fragebogenevaluation bei Studierenden [Is the use of virtual reality in otorhinolaryngology teaching automatically positively rated by students? : A questionnaire-based evaluation among students] [J]. *HNO*, 2024, 72(5): 367-374.
- [29] 沙骥超, 孟粹达, 刘奕麟, 等. 耳鼻咽喉头颈外科急症教学与虚拟现实技术深度融合的教学实践 [J]. *国际老年医学杂志*, 2023, 44(5): 636-638.
- [30] von Schnakenburg P, Heermann S, Kromeier J, et al. Einsatz von Virtual Reality in der HNO-Lehre: eine Alternative zum konventionellen Anatomiemodell [J]. *Hno*, 2023, 71(2): 106-113.
- [31] Du Y J, Liu K X, Ju Y X, et al. A comfort analysis of AR glasses on physical load during long-term wearing [J]. *Ergonomics*, 2023, 66(9): 1325-1339.

引用本文

周 雷, 张 雯, 于浩然, 等. 元宇宙创新模式在耳鼻咽喉科临床及教学中的应用现状与建设思路 [J]. *元宇宙医学*, 2026, 3(2): 120-126.

Zhou L, Zhang W, Yu H R, et al. Current applications and development strategies of metaverse innovation models in otolaryngology clinical practice and education [J]. *Metaverse Med*, 2026, 3(2): 120-126.