

引文格式:袁红,罗亚梅,康刚劲,娄岩.5G支持下的超声乳化白内障吸除术虚拟仿真系统设计与应用[J].眼科新进展,2023,43(8):642-646. doi:10.13389/j.cnki.rao.2023.0130

【新技术应用】

5G支持下的超声乳化白内障吸除术虚拟仿真系统设计与应用[△]

袁红 罗亚梅 康刚劲 娄岩

【摘要】 由于人眼结构复杂,开展直观眼科学学习、手术训练存在困难。本研究通过虚拟现实技术,构建超声乳化白内障吸除术虚拟仿真系统,用于辅助眼的解剖知识学习和手术训练。系统分为Web版和PC版,通过云端完成程序运行与画面渲染,保证音频、视频、立体模型能在客户端和云端实现实时传输,摆脱了依赖昂贵外接设备的不足。立体形式的数字解剖和虚拟手术资源能够培养眼科医师的抽象思维,有助于知识的获取与掌握,并提升医生的实践能力,辅助真实操作。

【关键词】 5G;超声乳化白内障吸除术;虚拟仿真系统

【中图分类号】 R776.1

作者简介:袁红(ORCID:0009-0008-7376-9722),女,1980年5月出生,重庆人,硕士,医学信息与工程学院教研室主任。研究方向:计算机应用。E-mail: yuanhong@swmu.edu.cn

通信作者:娄岩(ORCID:0009-0007-8649-9680),男,1961年1月出生,辽宁沈阳人,教授。中国医药教育协会副会长,智能医学专委会主委;全国高等院校计算机基础教育研究会常务理事,智能技术应用专委会主委;全国高校人工智能与大数据创新联盟副理事长;中国医药文化卫生协会医养健康工程分会常务副理事长/秘书长;西南医科大学学术院长。研究方向:智能医学。E-mail: louyan@swmu.edu.cn

收稿日期:2023-03-28
修回日期:2023-06-22
本文编辑:盛丽娜,刘雪立
[△]基金项目:中国医药教育协会2022重大科学攻关问题和医药技术难题科研课题(编号:2022KTM035);四川省教育厅2021-2023年度课题(编号:JG2021-1029);西南医科大学一流课程(编号:XNFZ20220005,XNFZ20220010);河南省高校重点科研项目(编号:22B413009,22A413008);河南省虚拟仿真实验教学项目(编号:154);2021年教育部行指委职业教育改革创新课题(编号:HBKC217010);2021年度辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目(编号:495)
作者单位:646000 四川省泸州市,西南医科大学医学信息与工程学院(袁红,罗亚梅);646000 四川省泸州市,西南医科大学附属医院眼科(康刚劲);453003 河南省新乡市,新乡医学院三全学院智能医学工程学院(娄岩);110000 辽宁省沈阳市,中国医科大学智能医学学院(娄岩)

但部分使用者会发生晕动症^[4]。VR眼科手术模拟器可以模拟常规手术时显微镜下的立体图像,辅助眼科规培医师完成手术培训,但需要经过信息技术专业人员的培训^[5]。使用过程依赖昂贵的VR设备、使用VR可能会发生晕动症和对使用者计算机应用能力要求较高等限制了VR在眼科的应用。

在医学职业培训中,通过实验和实训培养医师动手操作能力十分重要。然而,医学标本稀缺、成本高、破坏性操作和高危实验等因素制约着医学实践培训的开展。人眼解剖结构精细,手术空间狭小,很难在尸体(尤其福尔马林灌注固定后)上开展解剖学观察。传统的眼科解剖知识主要凭借模型、图片等方式进行学习。开展眼科实训时,通常采用猪眼球(福尔马林浸泡过)替代,但是具有气味难闻、标本易耗损、不可重复操作和需要严格的感染管理等缺点。现有的“理论教学联合动物眼练习”培训模式缺乏标准化的练习操作流程、客观的考核评价标准以及适时的培训反馈,难以满足当前医学生学习和眼科住院医师规范化培训的要求,制约着现代医学职业培训的开展。因此,探究开发针对眼的知识学习、手术培训的虚拟仿真系统,对推动眼科人才培养和手术方式更新具有现实意义。

1 医学虚拟仿真现状

虚拟现实技术(VR)的出现为改进医学生培训方法提供了新的技术手段。VR以计算机技术为主,综合了三维图形技术、多媒体技术、仿真技术、显示技术、网络等多种高科技的最新成果,具有沉浸(immersion)、交互(interaction)和想象(imagination)三大特点;相比常规图文、视频,VR可以展现出360°全景,兼具三维化、全景视野不受限等特性,实现较好的环境模拟,可充分在手术、解剖等医学培训和授课中发挥出优势^[1-2]。随着虚拟现实软件、硬件和算法的不断升级更新,开发的医学虚拟仿真系统越来越多,以VR推动医疗教育、产业变革升级的浪潮不断兴起。“VR+医疗”能够大大解决医学教育、医疗培训标准化和普适性的问题,提升医师培养质量、降低培养成本,缓解医疗资源紧缺。SynDaver公司发明的高仿真人体模型(仿真尸体)用于解剖教学,解决了标本稀缺的问题,但售价高达7万美元^[3]。VR构建三维立体场景模拟各种视觉障碍,学生头戴VR头盔,便可身临其境地感受眼疾患者的症状,

目前国内外已有基于VR的医学系统,但内容多是针对解剖知识的学习,且受到硬件设备、使用人数的限制^[2,6]。我们针对目前VR在眼科解剖、培训中存在人数、场地受限,依赖高端设备等问题,针对致盲性高的眼病——白内障,自主研发了基于5G技术的超声乳化白内障吸除术虚拟仿真系统,填补了

VR + 5G 技术在白内障手术应用中的空白。

2 虚拟仿真系统设计

2.1 设计思路

虚拟仿真系统采用 B/S 架构,使用 3D MAX、Maya、Unity 3D 等开发工具,结合 5G 技术、SRT 视频传输协议等构建(图 1)。该系统详细、立体展示了眼部的结构,并将白内障的发病机制及超声乳化白内障吸除术操作方法等融入到虚拟临床培训中。同时将该虚拟仿真系统部署到局域网和 5G 云上,利用 5G 传输低延迟解决使用者晕动症问题,使视频传输更加清晰无卡顿,在终端显示高清的 VR 内容,摆脱昂贵的 VR 模拟训练器、外接设备。仅使用鼠标、键盘就能在 PC 端、Web 端学习眼的解剖知识和进行超声乳化白内障吸除术虚拟操作,为医学虚拟仿真系统推广开启了技术支持。

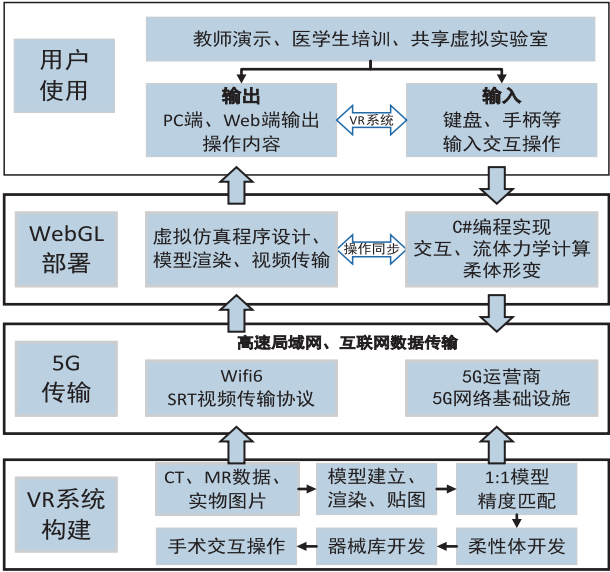


图 1 超声乳化白内障吸除术虚拟仿真系统设计

2.2 系统功能模块

系统具备 3 大功能模块:解剖学习、交互操作和习题考评模块(图 2)。其中,(1)解剖学习模块:构建正常人眼的模拟解剖结构,创造出具有立体感和真实感的眼前段常规手术的解剖学层次与组织结构。使用者通过鼠标或手柄对系统内的眼模型放大、缩小、改变视角,全方位观察眼的结构,深刻理解立体解剖结构。使用者可通过该模块对眼前段常规手术的解剖学层次、组织结构、位置关系等进行反复观察、学习,建立立体的眼知识体系。(2)交互操作模块:构建显微器械模型库、白内障疾病的症状及发病机制、白内障病变组织图片、手术原理及操作视频。通过虚拟手术系统,使用鼠标或手柄实现手术流程互动操作。输出系统包含 PC 端、Web 端。使用者能够在 PC 端、Web 端使用鼠标、键盘登录系统进行学习和交互操作。使用者可在系统反复练习,培

养临床思维,并对超声乳化白内障吸除术的手术过程有全面、直观的认识和理解。(3)习题考评模块:完成学习和操作后,通过客观题练习,巩固知识点。

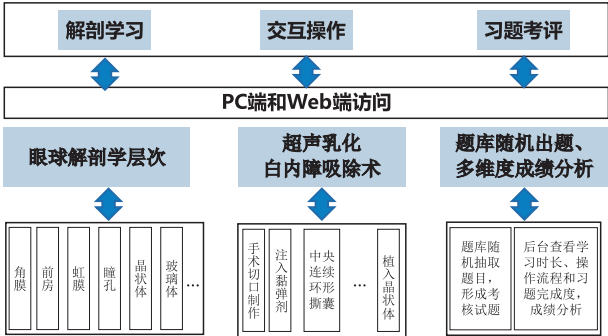


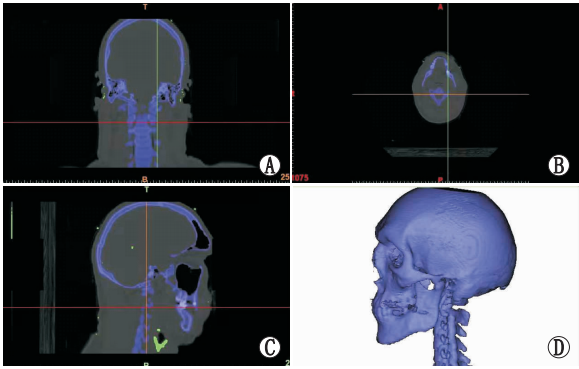
图 2 超声乳化白内障吸除术虚拟仿真系统功能模块

3 系统开发及关键技术

在 Windows Server 环境下,采用 SQL Server、3D MAX、Maya、Unity 3D、Photoshop 等开发工具^[7-8],运用 B/S 网络架构,构建超声乳化白内障吸除术虚拟仿真系统。使用者可以通过 PC 端和 Web 端随时随地进行线上学习。

3.1 眼的解剖模型设计

(1)数据采集:眼眶、眼前段及晶状体模型数据的采集主要通过标本的拍摄、解剖资料和 CT 影像获取。将收集的正常成年人眼的影像数据导入 3D Slicer 医学图像处理软件,实现 DICOM 信息的导出,标注信息的录入等(图 3)。



A:冠状面;B:水平面;C:矢状面;D:三维建模。

图 3 超声乳化白内障吸除术虚拟仿真系统 CT 影像建模

(2)模型建立:使用三维重建软件 Mimics 提取 CT 的 DICOM 影像数据,形成中高精度模型。使用 Maya 建模软件的图像分割功能,将形成的中高精度模型单独勾画分割,获得眼的组织结构;使用 3D MAX 的多边形建模方法,使得模型边缘与轮廓自然过渡;将重建的眼眶三维模型导入 stl 格式,匹配与人类 1:1 比例。由于提出来的骨骼模型不包含视神经管、鼻内管、泪腺窝等孔隙和纹理细节,将模型导入 Zbrush 中进行高精度复原雕刻,在 Zbrush 中完善

细节后,通过 Zrebuild 拓扑输出带有 UV 分布信息标准的模型,用以适应 Web 缓存量。接着将模型导入到 UE4 中,将 substance painter 输出的 PBR 材质贴图到引擎的 shader,将灯光中的 reallights 关闭(Web 不支持实时光照)。采用 Mudbox2017 采集 HDR 高动态仿真贴图数据,模拟眼眶内部的光照信息和反射信息。最后,将带有动画骨骼的 fbx 文件集成骨骼模型,进行运动测试;将 shader 模式调整成 H5 模式,在此模式下进行 PBR 着色处理,实现真实物理环境渲染,画面效果更加真实。同时,通过 Dadymesh 对仿真器械的 3D 打印实现高精度匹配,精度控制在 0.01 mm。

(3)晶状体、房水、玻璃体等柔性体开发:眼内的屈光介质多为柔性体,为了更加逼真地呈现柔性体的实时视觉反馈与碰撞反馈,本系统使用基于粒子仿真技术模拟实时视觉效果柔体表现(图4)。柔体碰撞的原理是使用粒子来控制集合体的变形实现的。在超声乳化白内障吸除术中,复杂的眼球组织在手术器械的作用下会发生变形,器械对其进行切割、牵拉等操作时会发生结构变化,为了逼真表现手术状态,本系统使用了边界元模型计算组织表面变形^[9]。通过把模型表面划分为网格小单元,表面的网格作为计算单元,利用网格节点位移计算出每一单元的位移。该方法计算量小,逼真度高,易于实现交互。最终达到使用者通过操作带有传感器的手柄模拟真实触碰、牵拉操作,在图形界面上逼真显示出手术过程中眼球组织受到牵拉、变形、流血等现象。

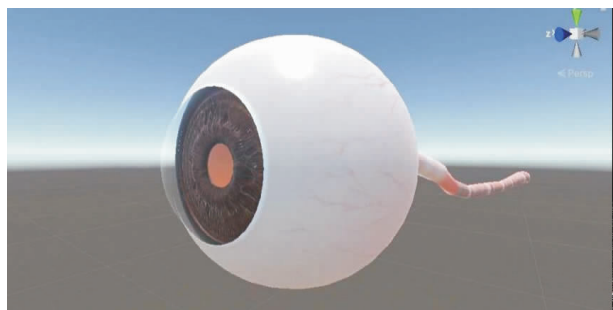


图4 系统构建的眼球模型

(4)刚体碰撞模拟:使用模拟手术器械进行超声乳化白内障吸除术模拟操作时,会发生手术器械之间的刚性碰撞。我们模拟刚性碰撞,首先就需要避免物体发生弹性形变,即刚性物体之间的距离不可能小于他们的半径之和。通过向量,我们限制了本系统中两个刚性物体之间的距离。此外,在这个系统中,我们希望碰撞物体可以被反弹出去。在虚幻引擎5的编辑器中可以直接对器械模型进行动力学设置^[10],所有的渲染刚体都可以进行动力学属性的设置,包括摩擦力,并支持简单的碰撞优化及调整、运动约束编辑、交互式的物理仿真及编辑器中的 tweak 快速调节。

3.2 WebGL 端设计

WebGL(Web Graphics Library)是一种 3D 绘图协议,WebGL 可以为 HTML5 Canvas 提供硬件 3D 加速渲染^[11],能够解决现有 Web 交互三维画面需要插件支持的问题^[12],又能创建复杂的导航和数据可视化^[13],并利用里层图形硬件加速对立体画面的渲染等。

(1)解决传输延迟:VR 内容网络化,面临突出的问题就是高延迟。本系统利用应用层接口虚拟化(API remoting)通过重定向接受数据报、调用参数、结果编码、切分时间片分配给虚拟机使用,实现 GPU 虚拟化,解决虚拟化处理问题。前端 Web 程序主要解决实时解码和各种用户仿真操作输入请求,实现输入输出操作同步。本系统通过对引擎 UE5 底层代码编程以及针对 GPU 服务器显卡 Direct12 3D 接口的优化,提高 3D 渲染效率和减少因渲染占用的 GPU 资源;通过优化 CPU 编程,缩短实时视频、音频基于 H.265 的编码时间,减少运算所需的软硬件资源。实现对鼠标、手柄全方位适配。将实时 H.265 解码器和模块集成到 HTML5 浏览器内部,编码后的文件大小仅为原始大小的 1%~10%,进一步降低传输带来的延迟,提升系统的实时性,单台服务器可满足 2~30 个远程用户体验学习。经过实验,画面延迟控制在 30 ms,画面分辨率可支持 32 K 以内,声音输出可支持到 5.1 声道输出设备。本系统使用 JavaScript 模拟键盘、鼠标及手柄的 API 接口程序,实现和拼接屏、投影、3D 电视或投影、VR 头显(Steam 系统)、VR 交互式手柄和鼠标、键盘等全方位适配。本系统可以完全摆脱昂贵的外接设备,仅依靠鼠标、键盘即可完成系统操作,能很好地避免部分使用者使用 VR 头盔、眼镜等产生的晕动症,亦可避免因终端设备本身延迟造成画面传输不流畅的问题。

(2)优化开放接口:为了增强系统安全性,数据防窥、防 Dos 攻击等,使用 Token 生成解决系统身份认证问题。系统使用了 JWT(JSON Web Token)解决登录安全隐患。用户完成登录,JWT 生成指定格式数据,通过服务器发送给客户端,客户端收到并存储起来,此时服务端状态变成无状态。以后每次登录只需直接带上格式数据,JWT 自动验证,如果两者相符,则可进入系统。

(3)升级开发引擎:将开发工具虚幻引擎 4 升级为虚幻引擎 5,通过工具套件、完整公开的源代码和简单的开发流程帮助开发者快速迭代并查看成品效果^[14]。

3.3 5G 云化确保数据高速传输

本系统的技术方案遵循腾讯云《5G 云内容白皮书》、虚幻引擎官方和华为云的技术方案,在此基础上加入系统内容和交互方式及操作硬件的升级和优化。

远程云渲染视频流传输技术是通过输入设备发

出互动数据,数据达到 GPU 服务器,服务器后台计算结果,接着将结果画面渲染。将渲染的实时画面以 90 FPS(FPS 为每秒传输帧数)回传到终端显示设备上,等待再次接受交互数据。亦将已经完成的内容适配 5G 传输协议,为适应 5G 信号的网络波动和地区信号的差异,将目前主流的自适应传输协议 HLS/DASH/CMAF 集成在终端软件上,在网络协议上,需要集成 HTTP3/QUIC 协议。为了降低带宽需求,降低内容延迟,采用视频编码压缩算法 AV1/H. 265,压缩率提高至 H. 264 的 2 倍。保证云视频、动画画质的情况下,尽量减少云端视频流量,同时在终端硬件上加载流媒体加速。

传输协议适配完成后对视频流进行加密。为了保证云内容传输过程中的数据安全,在整个传输过程中,以及在终端设备上解码的过程中,数据都必须以加密的形式存在,目前主流的 DRM 算法方案,AES-128、Widevine L1、PlayReady 以及国内正在发展的 China DRM 方案^[15],终端上需要具有这些解密算法,在硬件 SoC 芯片上要提高相应 TEE 运行环境。最终实现可视化效果的真实度达到 PBR 标准,VR 版帧率达到 60 FPS,Web 版帧率达到 90 FPS,碰撞测试精度为 0.01 mm。

4 系统功能实现

本系统将超声乳化白内障吸除术培训中难以掌握的知识点和手术技能,转化为 3D 展示和模拟操作,易于使用者操作培训。本系统具有可反复学习、操作,简单易上手,直观形象等优点,弥补了传统解剖培训具有的气味难闻、标本易损耗、标本资源紧张等缺点,提供给使用者一种更加宽松便捷的学习方式,为真实手术实操做好培训。

使用者进入本系统主界面,点击眼球模型,进入相应部分学习。如点击眼球某个部位,会显示该部位的名称和功能,立体清晰地展示人眼的整体和局部解剖结构;通过眼球的三维模型展示白内障发生、发展过程视频等让使用者充分理解、掌握眼科常见疾病的发病机制。所有模型可通过鼠标左键实现放大、缩小,鼠标右键实现 360°旋转(图 5)。

超声乳化白内障吸除术模拟操作包含显微器械(图 6)和交互手术操作、白内障疾病的症状、发病机制、白内障病变组织图片、手术原理及操作视频。在虚拟环境中,使用者能够使用鼠标完成超声乳化白内障吸除术完整手术过程。虚拟手术步骤包含:手术切口制作、前房内注入黏弹剂、中央连续环形撕囊、水分离、水分层、旋转、劈核、吸除残留晶状体皮质、植入人工晶状体、吸除残留黏弹剂、调整人工晶状体的位置和封闭切口,成形前房,共 12 步操作。使用者通过 Web 端或 PC 端,使用鼠标右键点击、拖拽完成手术器械选择、用器械夹住、翻转等步骤,术中选择“+”“-”控制注水量等。

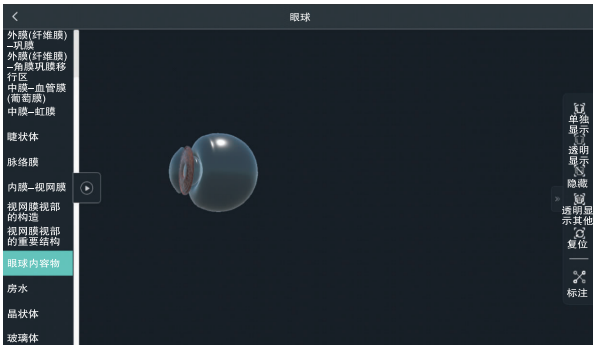
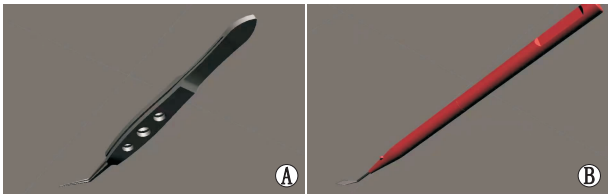
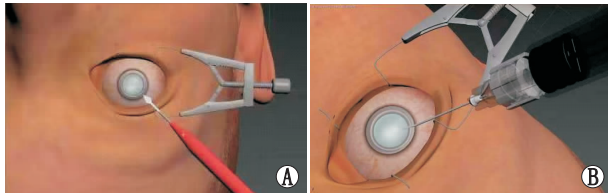


图 5 系统学习界面



A: 撕囊镊;B: 主切口刀。
图 6 系统模拟操作中包含的部分器械

以手术切口制作和前房内注入黏弹剂为例(图 7)。(1)手术切口制作:鼠标移动到正确部位,鼠标右键选择透明角膜切口位置,如选择位置正确,则出现切口制作动画。(2)前房内注入黏弹剂:在耗材库中选择注入的黏弹剂,选择正确后,按住鼠标右键不放,将黏弹剂移动到前房内正确位置;点击鼠标左键不放,让黏弹剂连续、均匀注入,注入完毕释放鼠标,正确操作后进入下一步。使用者通过反复操作练习,掌握超声乳化白内障吸除术的要点,强化技能训练。



A: 模拟切口制作;B: 注入黏弹剂。

图 7 使用者使用系统模拟超声乳化白内障手术操作

通过在西南医科大学眼视光学专业学生和附属医院眼科规培医师中试用本系统辅助学习培训,之后通过问卷调查分析试用者的感受。大部分试用者认为该系统中的立体模型有利于解剖知识的学习,重点、难点理解更加直观,印象更深,过程也更有兴趣。部分试用者认为本系统能随时用 PC 端、Web 端进入虚拟环境,获取知识更加便捷。但在交互操作时,需要使用鼠标或者手柄代替实际器械,部分首次试用者不太适应。大部分试用者对三维模型学习的形式比较满意,认为与传统培训模式相比,立体化的虚拟

模型更具有吸引力,愿意继续使用更多的医学虚拟仿真系统,同时也希望会有人体解剖虚拟系统来帮助他们掌握更多医学基础知识和手术操作。

5 结论

我们基于5G技术开发了超声乳化白内障吸除术虚拟仿真系统,用于眼的解剖学习和超声乳化白内障吸除术的训练。本系统在云端完成运行与画面渲染,确保音频、视频、立体模型能在客户端和云端实时传输。本系统不需要特殊培训即可上手操作,使用本系统辅助培训,可以使医学生和规培学员的白内障手术培训规范化、标准化,更安全、节约。立体形式的数字解剖和虚拟手术资源能够培养眼科医师的抽象思维,有助于知识的获取与掌握,并提升医师的实践能力,辅助真实操作。此外,本系统还能用于远程手术培训。

参考文献

[1] CAO C, CERFOLIO R J. Virtual or augmented reality to enhance surgical education and surgical planning [J]. *Thorac Surg Clin*, 2019, 29(3): 329-337.
[2] MCCARTHY C J, YU A Y C, DO S, DAWSON S L, UPPOT R N. Interventional radiology training using a dynamic medical immersive training environment (DynaMITE) [J]. *J Am Coll Radiol*, 2018, 15(5): 789-793.
[3] BERNARDO A. Virtual reality and simulation in neurosurgical training [J]. *World Neurosurg*, 2017, 106: 1015-1029.
[4] 钱静, 朱清懿, 耿云, 胡永斌. 人体解剖虚拟仿真系统的设计与开发 [J]. *中国医学教育技术*, 2020, 34(3): 318-321.
QIAN J, ZHU Q Y, GENG Y, HU Y B. Design and development of human anatomy virtual simulation system [J]. *China Med Educ Technol*, 2020, 34(3): 318-321.
[5] WANG C, OUYANG Y, LIU H, XU C, XIAO H, HU Y, et al. Surgery simulation teaching based on real reconstruction aid versus traditional surgical live teaching in the acquisition of an adult total hip arthroplasty surgical technique for developmental dysplasia of the hip: a randomized comparative study [J]. *BMC Med Educ*, 2020, 20(1): 228.

[6] 唐小标. 基于Unity3D的虚拟人体解剖系统设计与开发 [J]. *软件*, 2020, 41(11): 59-61.
TANG X B. Design and development of virtual human anatomy system based on Unity3D [J]. *Software*, 2020, 41(11): 59-61.
[7] QU C, CHE X, MA S, ZHU S. Bio-physiological-signals-based VR cybersickness detection [J]. *CCF Trans Pervasive Comput Interact*, 2022, 4(3): 268-284.
[8] 刘旭辉, 边靖芳, 崔浩然, 陶勇. 虚拟现实/增强现实设备在眼科的应用及其对眼健康影响的研究进展 [J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(2): 158-162.
LIU X H, BIAN J F, CUI H R, TAO Y. Research progress on the application of virtual reality/augmented reality devices in ophthalmology and their impact on eye health [J]. *Nat Med J Chin*, 2022, 102(2): 158-162.
[9] 雷超宇, 许玮, 宋雪霏, 傅瑶, 周慧芳. 新医科背景下眼科医工交叉人才培养探索 [J]. *中华医学教育杂志*, 2022, 42(12): 1061-1064.
LEI C Y, XU W, SONG X F, FU Y, ZHOU H F. Exploration on the cultivation of ophthalmology talent training in medicine-engineering interdisciplinary under new medical education [J]. *Chin J Med Educ*, 2022, 42(12): 1061-1064.
[10] 李乾, 徐华, 张越, 程芳. 基于约束的刚体碰撞响应仿真研究与应用 [J]. *计算机仿真*, 2020, 37(3): 338-342.
LI Q, XU H, ZHANG Y, CHENG F. Research on constraint-based collision response simulation of rigid body and its application [J]. *Comput Simul*, 2020, 37(3): 338-342.
[11] WANG M, CALLAGHAN V, BERNHARDT J, WHITE K, PEÑARIOS A. Augmented reality in education and training: pedagogical approaches and illustrative case studies [J]. *J Ambient Intell Human Comput*, 2018, 9(5): 1391-1402.
[12] SAYED A M, ABDEL-MOTTALEB M, KASHEM R, ROONG-POOVAPATR V, ELSAWY A, ABDEL-MOTTALEB M, et al. Expansion of peripheral visual field with novel virtual reality digital spectacles [J]. *Am J Ophthalmol*, 2020, 210: 125-135.
[13] 李然, 娄岩. “5G云+VR”技术在眼眶解剖教学及手术培训中的应用 [J]. *实验室研究与探索*, 2022, 41(1): 230-234, 258.
LI R, LOU Y. Application of “5G Cloud + VR” technology in orbital dissection teaching and operation training [J]. *Res Explor Lab*, 2022, 41(1): 230-234, 258.
[14] KAY R. Evaluating learning, design, and engagement in web-based learning tools (WBLTs): the WBLT Evaluation Scale [J]. *Comput Hum Behav*, 2011, 27(5): 1849-1856.
[15] ALLCOAT D, HATCHARD T, AZMAT F, STANSFIELD K, WATSON D, VON MÜHLENEN A. Education in the digital age: learning experience in virtual and mixed realities [J]. *J Educ Comput Res*, 2021, 59(5): 795-816.

Design and application of virtual simulation system of phacoemulsification supported by 5G

YUAN Hong¹, LUO Yamei¹, KANG Gangjing², LOU Yan^{3,4}

1. School of Medical Information and Engineering, Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan Province, China
2. Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan Province, China
3. School of Intelligent Medical Engineering, Sanquan College of Xinxiang Medical University, Xinxiang 453003, Henan Province, China
4. School of Intelligent Medicine, China Medical University, Shenyang 110000, Liaoning Province, China

Corresponding author: LOU Yan, E-mail: louyan@swmu.edu.cn

[Abstract] Because of the complex structure of the human eyes, it is difficult to carry out intuitive ophthalmic learning and surgical training. This study uses virtual reality technology to build a virtual simulation system for phacoemulsification, which assists in eye anatomical theoretical and surgical training. The system is divided into a Web version and a PC version, which complete program operation and image rendering through the cloud, ensuring real-time transmission of audio, videos and three-dimensional models between the client side and the cloud, eliminating the shortage of expensive external devices. The three-dimensional digital anatomy and virtual surgical resources can cultivate the abstract thinking of ophthalmologists, help them acquire knowledge, and enhance doctors' practical abilities.

[Key words] 5G; phacoemulsification; virtual simulation system