

虚拟现实技术在人工器官课程教学中的应用

王国平^{1,2}, 刘迎宾¹, 李景峰³, 郭彦彬¹, 叶韶华¹, 赵元弟^{1,2}

(1. 华中科技大学 生命科学与技术学院, 湖北 武汉 430074; 2. 华中科技大学 武汉光电国家研究中心, 湖北 武汉 430074; 3. 武汉大学 中南医院骨科, 湖北 武汉 430071)

摘 要: 人工器官是生物医学工程专业生物材料与组织工程方向的一门重要课程。针对华中科技大学生物医学工程专业在人工器官教学中存在的一些问题, 课程组根据自己的科研背景和授课体验, 以腰椎椎间盘人工髓核置换手术为内容, 基于虚拟现实技术, 自主设计开发了一款适合生物医学工程专业教学的系统平台, 可利用 VR 头盔和手柄的实时交互方式让学生能够真实体验腰椎椎间盘人工髓核虚拟置换手术中的步骤细节。该系统可加深学生对人工器官概念、手术植入流程的理解, 提高学生课程学习兴趣, 增强学生的积极性、动手实践能力、主动分析解决问题能力。

关键词: 生物医学工程; 人工器官; 教学改革; 虚拟现实技术

中图分类号: R318 文献标识码: B doi:10.3969/j.issn.1672-4305.2022.05.017

Application of virtual reality technology in artificial organ teaching

WANG Guoping^{1,2}, LIU Yingbin¹, LI Jingfeng³, GUO Yanbin¹, YE Shaohua¹, ZHAO Yuandi^{1,2}

(1. College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 3. Department of Orthopedics, Zhongnan Hospital, Wuhan University, Wuhan 430071, China)

Abstract: Artificial organ is an important course of biomaterials and tissue engineering for specialty in biomedical engineering. In view of some problems existing in the teaching of artificial organs in biomedical engineering major of our university, according to our own scientific research background and teaching experience, the course group independently designed and developed a system platform suitable for biomedical engineering teaching using virtual reality technology (VR), based on the model of prosthetic disc nucleus (PDN) replacement. Make use of the real-time interactive mode of VR helmet and handle, students can truly experience the steps and details of PDN replacement. The system can deepen the students' understanding of the concept of artificial organ and the process of surgical implantation, improve students' interest in learning courses, enhance their enthusiasm, practical ability and ability to analyze and solve problems actively.

Key words: biomedical engineering; artificial organs; teaching reform; virtual reality technology

收稿日期: 2020-11-19 修改日期: 2020-12-20

作者简介: 王国平, 博士, 教授, 主要从事激光视觉与可视化及生物医学应用的研究。E-mail: wangguoping@hust.edu.cn

通讯作者: 赵元弟, 博士, 教授, 主要研究方向为生物医学传感检测技术。E-mail: zydi@mail.hust.edu.cn

基金项目: 教育部产学合作协同育人项目(项目编号: 202002017014); 华中科技大学教学研究项目(项目编号: 2020108)。

生物医学工程是运用工程学的原理和方法解决生物医学问题, 提高人类健康水平的综合性学科^[1]。生物材料与组织工程是生物医学工程领域的一个重要方向^[2]。生物材料是一类用于人体疾病的预防、诊断、治疗, 修复或置换病损组织或器官从而恢复其原有功能的天然或人工医用功能材料^[3]。生物材料的开发与应用直接关系到人民健

康, 它不仅可以挽救成千上万病人的生命, 还可以提高更多人群的生活质量。近年来, 生物材料与生物技术相结合形成了一个交叉领域—组织工程^[4], 其基本原理是将细胞黏附在生物材料(支架)上植入组织或器官的病损部位, 细胞不断增殖最终形成相应的组织或器官^[5], 实现修复创伤或恢复功能的作用^[6]。目前运用组织工程可复制各种组织^[7], 也可开发出不同的人工器官^[8]。人工器官是用生物材料或电子装置制成的具有人体某些器官功能的系统^[9], 其可以辅助取代病损的人体器官从而达到在一定程度上修复器官功能的目的。随着生物医学工程学科的迅猛发展, 涌现出大量的人工器官, 它们有许多已经进入了临床使用。

华中科技大学生物医学工程本科专业分为 4 个方向, 即生物医学光子学与检测技术、医学电子与信息技术、生物材料与组织工程、生物医学分析与试剂^[10]。对于生物材料与组织工程方向而言, 除必要的学科基础课程作为先修课程外, 开设有生物材料学、组织工程导论、生物材料与组织工程实验、新材料概论、生物材料相容性评价、生物材料的分子结构、干细胞与再生医学、细胞力学与生物力学、人工器官导论等课程, 围绕生物材料与组织工程形成了完备的教学体系。其中, “人工器官导论”是一门重要的专业课程, 该课程通过对人工器官原理的介绍, 结合典型实例让学生理解人工器官的基本概念、理论和方法, 了解其未来的发展趋势, 并使熟悉人工器官研究的各种技术, 同时了解人工器官的构建、评价、植入等重要环节过程, 学习运用工程技术结合医学实验解决实际问题的方法, 尝试培养学生生物材料与组织工程领域的研究和开发能力, 为学生今后研究人工器官及相关系统奠定基础。

在该课程以往的教学过程中, 课程组发现由于人工器官涉及学科领域众多, 关键知识点范围较广^[11], 尽管生物医学工程专业学生可以对相关理论知识有较好的掌握, 但由于学生缺乏感性认识, 因此无法对人工器官临床应用的全过程有深刻理解。特别是在讲解植入过程时, 即使内容相对具体, 尽管学生也学过解剖与生理学等先修课程, 但由于学生根本无法实际操作, 因此对教学效果有较大影响。

在教育信息化浪潮下, 虚拟现实技术(VR)已广泛应用于各学科领域的教学活动中^[12]。虚拟现实技术依托多媒体、互联网、人机交互及虚拟仿真等信息技术, 结合教学内容构建虚拟的实验环境和实验对象, 通过视觉、听觉和触觉等感官的模拟, 使学生

在自主、开放、交互的环境中身临其境地开展实际教学环节中难以完成的学习活动^[13]。因此, 将虚拟现实技术引入人工器官课程教学中, 将有助于学生学习人工器官的原理和应用的全过程, 克服植入过程无法实际操作的局限性, 强化学生对人工器官原理和临床应用内涵的深刻理解。通过虚拟实验可锻炼学生自主学习能力、实践动手能力、综合应用知识的能力, 进一步提升教学效果。

1 系统架构

人工器官的种类繁多, 按照功能划分有支持运动功能的、血液循环/净化功能的、呼吸功能的、消化功能的、排泄功能的、感觉功能的等等, 临床上针对不同类型病人使用对应功能的人工器官。退行性椎间盘病变在老年人中发病率较高, 其可引发腰腿痛。传统的治疗方式主要是椎间盘髓核摘除或脊柱融合等, 然而近年来人们发现摘除手术往往会导致脊柱生物力学和结构紊乱, 因此越来越多利用一种人工器官—人工椎间盘髓核假体置换来代替摘除手术, 临床评价显示人工椎间盘髓核置换手术的疗效令人满意^[14]。基于此, 课程组根据科研背景和授课经验, 选择以人工椎间盘髓核假体置换为内容在“人工器官导论”课程教学中引入虚拟现实技术。

腰椎椎间盘人工髓核虚拟置换手术系统采用事件驱动架构(图 1 所示), 该架构属于分布式异步架构, 不同事件处理器之间高度解耦合, 且可被独立加载、卸载, 不易产生事件阻塞, 使系统具备较强的可扩展性、易维护性。系统支持虚拟现实(VR)硬件接口, 有助于增强交互感及操作性。同时, 系统包含细节层次、阴影贴图等计算机底层算法, 有助于优化中央处理器与图形处理器的硬件资源分配, 提高系统的运行稳定性。

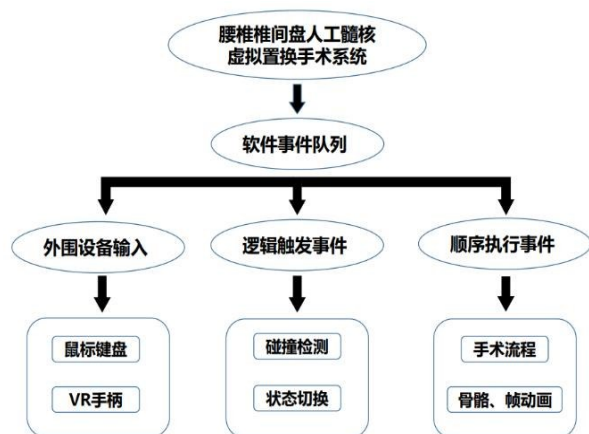


图 1 腰椎椎间盘人工髓核虚拟置换手术系统架构图

2 实验内容

腰椎椎间盘人工髓核置换有相应的手术流程^[15],我们采用虚拟现实技术对主要流程进行了模拟操作。

(1)术前准备,包括患者硬膜外麻醉、暴露出背部手术区域,呼吸机、监护仪、吸引器等做好准备。

(2)常规皮肤消毒,包括含碘伏纱布消毒皮肤、医用酒精脱碘、酒精纱球再次消毒等。

(3)铺巾,包括将治疗巾按一定顺序在手术区域的上方和下方各铺大方单、中单,最后铺大敷单。

(4)手术开口,包括持手术刀,以病椎部位为中心,纵行切开皮肤(图2所示),电刀止血;切开皮肤下组织及筋膜,拉钩拉开皮肤,暴露椎板;剥离离子剥离椎旁肌和棘上韧带;自动撑开器撑开皮肤、组织、肌肉。



图2 使用者持VR手柄操作手术刀切开皮肤

(5)椎板开窗,包括持椎板咬骨钳咬除单侧椎板,圆咬骨钳咬除同侧棘突。

(6)取出损伤髓核,包括持手术刀于纤维环外侧做一线性横切口,持髓核钳摘除纤维环内的全部损伤髓核组织,持神经剥离子为神经根减压。

(7)选型,包括将椎板撑开器置于损伤椎间盘上一个腰椎椎板下缘及下一个腰椎椎板上缘,X线片拍摄后对椎体间隙的高度及形状进行评估,以确定植入人工髓核型号。

(8)人工髓核植入,包括将引导器放置到纤维环切口处,持艾力氏长镊夹住人工髓核并缝合两根牵引线,持圆头推进器将人工髓核推入纤维环内并牵拉人工髓核使其变成横位,持L形推进器调整人工髓核假体位置,使其位于纤维环正中央;X线片检查确认人工髓核假体位置是否合适。

(9)充分水化,包括沿椎间隙滴入适量盐水,保证人工髓核充分水化膨胀,取出椎体撑开器,使椎体间隙复原。

(10)清洁手术部位及缝合伤口,包括利用吸引器吸出内部血水混合物,持角针依次缝合肌肉、筋膜

和皮肤,利用乙醇纱布消毒创口,敷贴、棉垫覆盖创口,并用胶布固定。

3 系统特色

腰椎椎间盘人工髓核虚拟置换手术系统构建了完整的外科手术室三维立体模型,其中包括C臂机、吸引器、手术床、呼吸机、电刀、人工髓核、各类手术器械及虚拟医护人员等,逼真还原真实手术场景(图3所示);内嵌虚拟现实(VR)头盔和手柄硬件接口,学生不仅可通过头盔实时地观察场景中的三维模型,还可利用手柄与场景模型进行动态交互,构建融合视觉、听觉、触觉的多感知虚拟环境,提升系统的操作性和浸入感;封装基于PhysicsX的物理系统,虚拟世界的三维立体模型被赋予物理世界的行为及规律,使虚拟三维模型拥有重力坠落、受力运动、碰撞检测等高级属性,极大地优化了用户体验,使学生身临其境;囊括术前消毒、术中置换、术后缝合等全部手术操作步骤,真实呈现手术流程中的操作细节;支持脚本语言动态加载帧动画、骨骼动画、逻辑动画等各类动画,自定义编辑动画逻辑,保障手术虚拟操作的流畅性,提高培训学习的效果。

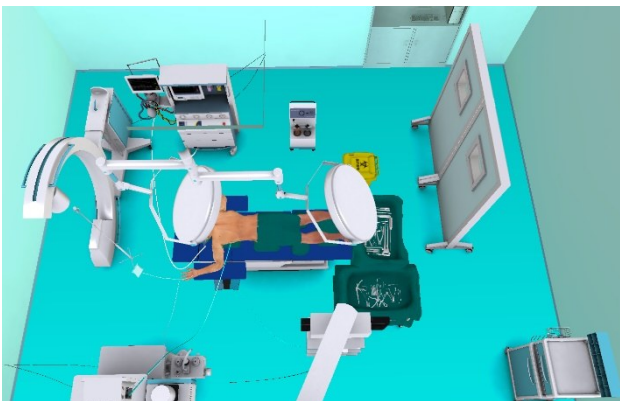


图3 虚拟手术场景模型图

为了协调系统实时渲染的效果及速度,本系统基于细节层次、阴影贴图及深度裁剪等计算机图形学底层技术,优化硬件资源配置方案,保证串行渲染和并行计算的高效率配合,提升系统的运行稳定性。系统支持键盘、鼠标、手柄等多种交互接口,可针对具体场景需求进行自定义交互风格开发,提升系统交互的丰富性及灵活性。利用VR头盔和手柄的实时交互方式让学生能够真实体验腰椎椎间盘人工髓核虚拟置换手术中的步骤细节,加深学生对人工器官概念、手术植入流程的理解,提高学生课程学习兴趣,增强学生的积极性、动手实践能力、主动分析和解决问题能力。

4 结语

我们利用虚拟现实技术构建的腰椎椎间盘人工髓核虚拟置换手术系统,将结合学生应用情况及反馈信息,对存在的问题与不足之处进行不断修改,同时计划增加其它具有运动功能的人工器官如人工脊椎、人工关节、人工骨等的植入置换,远期将纳入其它功能人工器官的虚拟手术,最终构建综合性人工器官虚拟仿真实验平台。同时,将秉承开放共享理念对外服务,使之成为生物材料与组织工程方向学生学习和了解人工器官的优质在线学习资源。

参考文献(References):

- [1] 教育部高等学校教学指导委员会. 普通高等学校本科专业类教学质量国家标准(下)[M]. 北京:高等教育出版社,2018.
- [2] 熊党生. 生物材料与组织工程[M]. 2版. 北京:科学出版社,2020.
- [3] 侯春林. 对当前医用生物材料研究的一点看法[J]. 中国骨与关节杂志,2015,4(11):834-835.
- [4] 王乐禹,邱小忠,王璞玥,等. 组织工程研究的现状及应关注的重要基础科学问题[J]. 中国科学基金,2020,34(2):213-220.
- [5] 张庆昊,姜铭,王靖,等. 原位再生在组织工程中的作用与应

用研究[J]. 生命科学,2020,32(3):204-211.

- [6] 秦宇星,任前贵,沈佩锋. 组织工程骨技术治疗骨缺损的优越性[J]. 中国组织工程研究,2020,24(24):3877-3882.
- [7] 张秀珍,陈秋竹,张艺琪,等. 膀胱组织工程研究进展[J]. 生物医学工程学杂志,2020,37(2):200-206.
- [8] 顾汉卿. 人工器官、组织工程与生物材料的展望[J]. 国际生物医学工程杂志,2008(2):65-69.
- [9] 朱侗明,朱剑虹. 生物人工器官及生物人工小脑构建的研究进展[J]. 中华神经外科杂志,2016,32(1):83-87.
- [10] 骆清铭,朱丹,曾绍群,等. 生物医学光子学特色方向本科教学体系建设初探--以华中科技大学为个案[J]. 高等工程教育研究,2008(4):106-109.
- [11] 林越威,曾辉宇,刘啸宇,等. 三维打印技术在人工器官生产上的应用[J]. 生物医学工程学杂志,2015,32(5):1160-1164.
- [12] 赖伟成,汪大洋. 基于虚拟现实的室内设计方法研究[J]. 自动化技术与应用,2020,39(10):163-165.
- [13] 张楠,刘寅. 医学虚拟现实实验教学平台的建设和实践[J]. 实验室科学,2020,23(3):43-46.
- [14] 毛宾尧. 腰椎人工椎间盘和人工髓核置换的研究进展[J]. 实用骨科杂志,2003,9(5):426-430.
- [15] 张辉. 腰椎间盘突出人工髓核置换术的基础与临床研究[D]. 广州:第一军医大学,2005.

(上接第73页)

罗分析结果的验证采用最坏情况分析方法,表2和表4可以作为实验实施的对比参照。

根据本案例的介绍可以看出,Multisim 软件的统计、算法分析等功能在实验过程中缺乏实施的条件,而这些功能的使用对于学生理解工程化设计的特点起到一定的辅助作用。将仿真软件功能的深度开发与拓展课程设计题目的深度和广度相结合,使得 Multisim 软件成为电子线路课程设计的工程化教学有力的支撑平台。

参考文献(References):

- [1] 吕念芝. Multisim 在“数字电子技术”课程设计中的应用[J]. 电气电子教学学报,2018,40(3):143-146.
- [2] 梁丽. 基于 EDA 技术的电子线路设计的改革与实践[J]. 实验技术与管理,2020,37(2):100-103,116.
- [3] 石永山,王飞,刘铭. 电路容差分析在设计中的应用[J]. 光电技术应用,2010,25(6):49-52.
- [4] 王冠华. Multisim 10 电路设计及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
- [5] 王尔申,李轩,王相海,等. 基于 Multisim 的电工及工业电子学课程仿真实验设计[J]. 实验技术与管理,2014,31(10):

128-140.

- [6] 张雪莲,张媛,郑秋菊. Multisim 在数字逻辑电路课程设计中的应用——以分频电路为例[J]. 中国现代教育装备,2020(11):36-39.
- [7] 侯长波,张宗显,余文鑫,等. 基于晶体管的运算放大器实验项目设计[J]. 实验科学与技术,2020,18(1):47-52.
- [8] 李敏. Multisim 在数字电路课程设计中的应用[J]. 实验室科学,2020,23(6):56-59.
- [9] 殷铸灵. 低频小信号放大电路的研究[D]. 北京:北京邮电大学,2012.
- [10] 陆映红. PSPICE 灵敏度分析在优化电路设计中的应用[J]. 广西民族学院学报(自然科学版),1999,5(1):36-39.
- [11] 李慧贞,李春霞. 基于 EDA 技术的电路容差分析在电路设计中的应用[J]. 陕西科技大学学报,2010,28(2):107-110.
- [12] 晏力. 蒙特卡罗分析方法在 EDA 中的应用[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2005,22(4):354-356.
- [13] 贾俊平,何晓群,金勇进. 统计学[M]. 6版. 北京:中国人民大学出版社,2014:134-149.
- [14] 许大伟,雍国富,王德波. 蒙特卡洛方法在电路仿真中的应用[C]. 第二届中国系统仿真技术及其应用学术年会(20th CCSSTA 2019),乌鲁木齐,2019:208-212.
- [15] 吴贞焕,钟庆宾,张新莲. 负反馈放大电路稳定性动态仿真研究[J]. 实验室研究与探索,2011,30(7):34-53.