

智能化颞下颌关节紊乱病临床检查虚拟仿真教学项目的开发

张培^{1*}, 何薇^{2*}, 张益琳³, 孙圣军^{1#}

¹山东大学齐鲁医学院口腔医学院·口腔医院修复科, 山东 济南

²山东大学齐鲁医学院口腔医学院·口腔医院, 山东 济南

³山东第一医科大学附属省立医院口腔科, 山东 济南

收稿日期: 2025年10月1日; 录用日期: 2025年10月28日; 发布日期: 2025年11月6日

摘要

颞下颌关节紊乱病(Temporomandibular Disorder, TMD)是口腔医学临床常见病和多发病, 鉴于该病的复杂性, 传统教学手段的教学效果较为有限。为考察TMD临床教学效果, 本研究开发了一套虚拟仿真教学系统。该系统通过整合相关基础知识、临床诊疗信息及人工智能技术, 实现了从患者检查、病情诊断到治疗方案的完整临床诊疗流程模拟。系统引入了智能助教模块, 提供个性化学习路径和实时反馈机制。

关键词

口腔医学, 实验教学, 虚拟仿真, 颞下颌关节紊乱病, 人工智能技术

Development of an Intelligent Virtual Simulation Teaching Project for Clinical Examination of Temporomandibular Joint Disorders

Pei Zhang^{1*}, Wei He^{2*}, Yilin Zhang³, Shengjun Sun^{1#}

¹Department of Prosthodontics, School and Hospital of Stomatology, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Jinan Shandong

²School and Hospital of Stomatology, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Jinan Shandong

³Department of Stomatology, Shandong Provincial Hospital Affiliated to Shandong First Medical University, Jinan Shandong

*共第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 张培, 何薇, 张益琳, 孙圣军. 智能化颞下颌关节紊乱病临床检查虚拟仿真教学项目的开发[J]. 教育进展, 2025, 15(11): 355-362. DOI: 10.12677/ae.2025.15112043

Abstract

Temporomandibular Disorder (TMD) is a prevalent and frequently encountered condition in clinical dental practice. Given the complexity of this disorder, traditional teaching methods have shown limited effectiveness. To examine the clinical teaching outcomes for TMD, this study developed an artificial intelligence-based virtual simulation teaching system. This system integrates foundational knowledge, clinical diagnostic and treatment information, and artificial intelligence technologies to simulate the entire clinical diagnostic and treatment process, from patient examination to diagnosis and treatment planning. The system incorporates an intelligent teaching assistant module, offering personalized learning pathways and real-time feedback mechanisms. The results indicate that this system improves dental students' learning outcomes, interest, and engagement in TMD-related knowledge, providing a new and efficient tool for TMD clinical education.

Keywords

Oral Medicine, Experimental Teaching, Virtual Simulation, Temporomandibular Disorders, Artificial Intelligence Technology

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

颞下颌关节紊乱病(Temporomandibular Disorder, TMD)指累及颞下颌关节和(或)咀嚼肌系统,引起关节疼痛、弹响及张口受限等一组疾病的总称[1]。其发病率较高,根据流行病学调查报道[2][3],国内 TMD 发病率约为 54.2%~61.9%。TMD 患者可出现一系列的张口、咀嚼时关节疼痛症状,若不及时治疗,可发展为关节绞索、张口受限,严重时甚至完全不能张口[4]。TMD 发生于儿童或青少年时,可导致面下部发育障碍,致使面部发育畸形,为患者带来生理和心理痛苦,影响患者生活质量[5][6]。随着我国社会经济的发展和健康意识的提升, TMD 的诊治需求日益增加,这对口腔医学教育提出了更高的要求。

传统 TMD 教学主要依赖课堂理论讲授和临床实践。然而, TMD 的临床诊断和分型相当复杂,需要综合考虑患者的病史、临床表现、影像学检查以及实验室检查等多种因素[7][8],仅靠静态教学资源难以培养学生的综合临床思维能力。此外,临床实践受限于病例数量、带教教师经验及伦理约束,难以为每位学生提供充分的实践机会,带教教师难以同时指导多名学生进行复杂病例分析。这种教学模式往往导致学生毕业后临床操作能力不足,直接影响其职业发展。

现有研究已探讨了虚拟仿真技术在医学教育中的应用。例如,张师贤等[9]报道了虚拟仿真在口腔解剖生理学教学中的使用,指出其可增强学生对解剖结构的理解,但未涉及复杂临床流程的模拟。程实等[10]描述了云计算架构下的虚拟仿真平台建设,强调其在资源共享方面的作用,然而,该研究主要聚焦于平台架构,而非特定疾病的临床思维训练。梁广昱等[11]考察了数字孪生在控制课程中的应用,显示虚拟仿真可改善实验教学,但其针对工程领域,未扩展到医学临床场景。

人工智能技术在教育领域的应用也已被研究,如黄贵懿等[12]分析了地方本科院校教学质量问题,建

议引入技术手段提升互动性,但未具体整合 AI 与虚拟仿真。张萍等[13]评估了虚拟仿真在心肺复苏教学中的混合式应用,结果显示其提高了操作技能,但研究限于急救技能,未涉及慢性疾病如 TMD 的诊断过程。梁熠溥等[14]探讨了 5G 虚拟仿真在医学实验技术人才培养中的模式,强调远程互动的优势,然而,该研究未包括力反馈硬件或个性化反馈机制。

这些研究虽提供了虚拟仿真和 AI 在医学教育中的基础框架,但存在局限:多数聚焦于单一模块(如基础知识或操作技能),缺乏完整临床诊疗流程的整合;此外,前人工作多未结合硬件设备模拟触觉反馈,且个性化学习路径的实现有限。本研究通过开发一套基于 AI 的 TMD 虚拟仿真系统,填补了这些空白。具体而言,本系统整合了从基础知识到诊断治疗的全流程模拟,引入力反馈设备和智能助教模块,提供实时反馈和个性化路径,从而在现有知识体系中定位为针对 TMD 临床思维训练的综合平台,解决了传统方法在实践机会和互动性方面的不足。

本研究以建构主义学习理论为指导,强调学生通过主动探索和问题解决来构建知识体系。系统引入智能助教模块和力反馈设备,模拟临床诊疗流程。研究表明,该系统提高了学生的学习效果,并为口腔医学教育提供了可推广的范例。该项目针对 TMD 这一疾病的治疗,采用人工智能与虚拟仿真相结合的手段,提高了教学质量。设备硬件端成本低廉,易于推广,与软件端相辅相成,以提高教学效果。因此,本项目具有临床意义和应用价值。

2. 综合性实验虚拟仿真建设方案设计

本系统围绕“颞下颌关节紊乱病”这一临床常见病多发病,建立了“检查-诊断-治疗”完整临床诊疗环路。系统通过虚拟现实、多媒体、人机交互、力反馈硬件和网络通信技术,按照“能实不虚、虚实结合”的原则,构建基于循证医学思维的实验诊断和技能训练平台,学习者以角色扮演方式,线上进行患者临床检查、影像学检查、进行诊断、给出治疗计划,以提高学习者综合知识的应用能力、思辨能力和操作技能,促进学习者多学科知识的融会贯通,培养具有循证医学思维能力的高素质口腔医学人才。

项目以建构主义学习理论为基础,构建学习情境,采用“三模块-三层次”的设计思路:通过“基础知识学习”“进行临床检查”“诊断和治疗方案”三个基本模块的构建,构思了“认知知识-应用知识-深化知识”递进式的学习层次。将育人元素贯穿始终,注重培养学生思想品德、社会责任、医学伦理、职业素养。实验各模块遵循临床诊疗环路步骤,相互紧密联系、环环相扣,对培养学生诊疗一体化综合思路具有重要作用,最终实现项目制定的能力和素养培育目标(见图 1)。

2.1. 实验总体框架

如前述,常规的课堂和临床教学有诸多限制之处,而虚拟仿真教学能够模拟真实的临床环境,增强学生的互动性和参与感,能够节约教学成本的同时,提升教学效果[13][14]。基于建构主义学习理论和学生实际学习过程,本虚拟仿真项目教学过程分为了基础知识学习、虚拟仿真实践、学习效果检测三个阶段(虚拟仿真项目见图 2)。

(1) 知识认知,相关基础内容学习

基础内容学习模块包括颞下颌关节紊乱病基础知识、临床检查方法、诊断标准、常用治疗手段四部分。其中基础知识内容呼应线下课堂教学环节,为课堂内容的深化;其他三个部分对应本虚拟仿真系统的三个主要环节:检查、诊断、治疗方案。本部分通过讲解视频、幻灯片、图像、文字等内容,对线下课堂上学到的知识进行回顾和加深。

(2) 知识应用,对虚拟患者进行临床检查

在知识应用阶段,系统通过虚拟现实(VR)、自然语言交互及力反馈技术构建沉浸式临床场景,支持

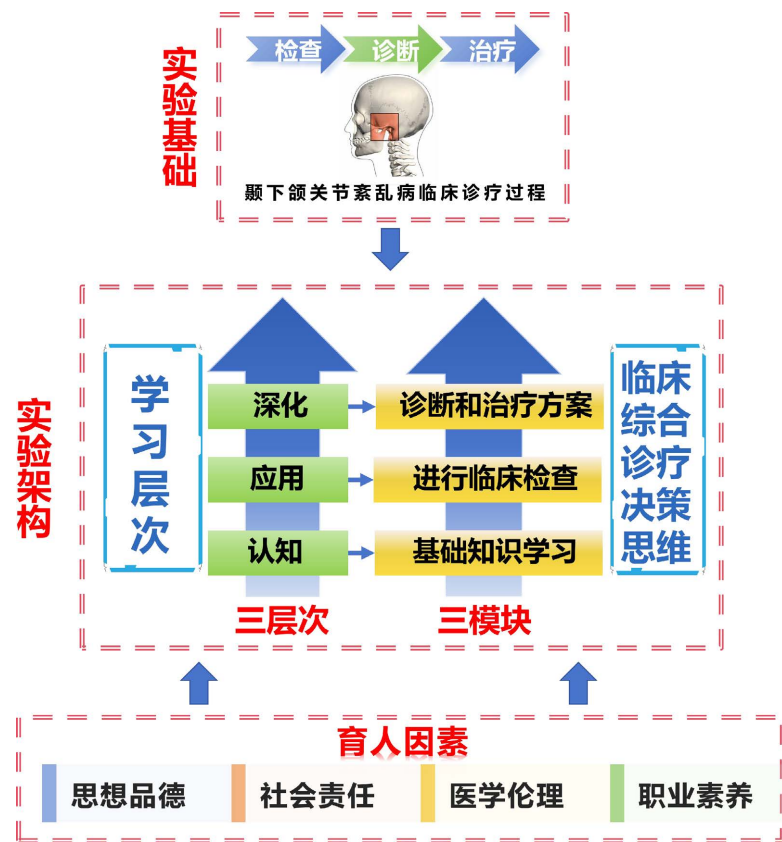


Figure 1. Experimental design ideas
图 1. 实验设计思路



Figure 2. Virtual simulation experiment project
图 2. 虚拟仿真实验项目

学生完成问诊、触诊、影像分析等七项核心检查。虚拟患者可动态响应语音提问并模拟疼痛反馈,力反馈设备还原触诊振动感。人工智能助教全程提供操作纠错与数据记录,并根据薄弱点推荐专项训练。该系统突破传统教学限制,允许无风险反复练习,结合多人协作模式培养临床思维与团队协作能力,显著提升操作规范性和诊断信心。

(3) 知识深化,基于检查结果给出诊断,并制订合理的治疗方案

学习者综合患者临床资料及检验结果、沟通信息等进行诊断,并提交诊断依据。如果学习者之前的检查结果有误或判读不准确,可能会导致无法得出正确的诊断结果,因此需要重新思考和分析。系统能够对学生的错误之处进行分析和反馈,根据口腔医学相关知识图谱,引导学生对知识掌握欠熟练内容进行再次学习,使学生能够掌握和应用正确手段对颞下颌关节病患者进行检查。

最后,在正确检查和诊断基础上,系统引导学生根据诊断结果,给出合理的治疗计划,从而锻炼学生深入思考、分析问题和解决问题的综合能力,以达到思维训练目的。学习结束后,系统根据学生整个学习过程的表现,给予成绩,体现过程性考核。学生的学习情况和分析结果将被汇总至教师端,供教师参考,以便制定下一步的教学计划。

2.2. 技术实现

本虚拟仿真实验项目采用校企合作模式开发,结合3D仿真、二维动画及HTML5技术,通过Unity3D、3D Studio Max、Maya 和 Visual Studio 等工具,构建了高度仿真的颞下颌关节紊乱病诊疗训练系统。具体实现途径如下:

2.2.1. 三维模型设计与渲染

颞下颌关节、咬合肌群及相关解剖结构的建模基于临床影像数据,使用3D Studio Max 和 Maya 完成高精度三维建模。模型表面纹理、材质及光照效果通过 Substance Painter 进行渲染优化,以真实还原颞下颌关节的形态特征及病理状态(如关节盘移位、骨质增生等)。针对触诊环节,通过 Maya 的动力学模拟技术,构建了可交互的软组织形变模型,模拟触诊时的动态反馈。将三维模型导入 Unity3D 引擎,搭建虚拟诊疗场景。利用 Unity 的物理引擎模拟颞下颌关节运动及咬合力学特性,并通过 C#脚本实现关节触诊、张口度测量等交互操作的逻辑控制。此外,结合力反馈设备,实时传递触觉信号,增强操作沉浸感。

2.2.2. 二维动画与交互设计

基础理论模块的二维动画(如疾病机制、治疗原理)采用 Adobe Animate CC 制作,通过骨骼绑定和逐帧动画技术,生动展示颞下颌关节的生物力学变化。动画内容与 Unity 场景无缝衔接,支持中英文双语切换,满足国际化教学需求。

2.2.3. 人机交互与流程控制

实验操作流程的交互逻辑通过 Unity UI 系统实现。界面按钮、弹窗提示及操作指引采用 HTML5 和 CSS 进行动态设计,确保跨平台兼容性。用户操作数据通过 JavaScript 实时记录,并反馈至智能助教模块,生成个性化学习报告。

2.2.4. 智能算法与反馈优化

基于 Visual Studio 开发的智能助教模块,集成自然语言处理(NLP)和机器学习算法,支持语音提问与文本答疑。系统自动分析学生操作中的错误模式(如误诊关节弹响类型),通过 Unity 动态生成针对性训练任务,并推送补充学习资料。考核环节的 AI 评分系统结合规则引擎与模糊逻辑,实现诊断准确率、操作规范性的多维度评估。

3. 综合虚拟仿真系统实验效果实现

3.1. 基础知识学习阶段

在此环节中, 拥有口腔医学知识图谱的人工智能助教快捷方式, 一直位于屏幕下方, 学生如有知识点未能理解, 或陌生的名词和概念, 可随时使用自然语言对助教进行提问, 获得深入回答, 并可进一步对回答内容进行探讨, 从而深化理论知识的学习。

3.2. 软硬件结合进行临床检查阶段

临床检查模块为本虚拟仿真项目重点内容, 包含问诊、视诊、下颌运动检查、肌触诊及运动试法、口内咬合检查、颞下颌关节触诊、影像学检查七个部分, 模拟临床上对颞下颌关节病患者做出检查的全过程。

在颞下颌关节触诊环节中, 配合教学团队开发的关节振动模拟设备(见图 3), 学习者还可体会关节振动的真实手感, 加深学习效果。学习过程中, 系统通过音频、视频和文字等方式分步指引学生自主完成技能训练, 并对学生的操作进行评价和反馈, 从而规范每位学生的技能操作。



Figure 3. Vibration simulation device

图 3. 振动模拟装置

4. 实验的建设特色及意义

4.1. 立足临床实践, 创新教学模式

本实验立足于颞下颌关节紊乱病这一临床常见病、多发病, 针对目前口腔医学生相关教学内容不足, 课本知识与临床实践联系不够密切这一现状, 提出使用虚拟仿真实验手段, 采用情景教学模式, 训练学生对 TMD 患者的问诊、临床检查手段、影像学结果分析等多方面技能, 有助于学生相关知识点的学习, 和临床技能的完善, 最大限度减少临床风险。同时, 虚拟实验也可作为学生的考核手段, 对学生知识点掌握情况进行实际考察, 以促进学生的知识、技能、临床思维全面发展[15]-[17]。

4.2. 软硬件结合, 提升教学效果

本实验不仅包含传统虚拟仿真实验手段中的人机对话, 情景教学, 临床考核等方面, 还结合了简单硬件设备, 以模拟临床触诊时的手感。该措施旨在解决目前虚拟仿真教学中, 传统的人机对话模式难以进行触觉模拟这一关键问题, 并且设备结构简单, 价格低廉, 便于推广使用。该软硬件结合模式可以

模拟临床实际环境, 有利于提高实验教学质量。

4.3. 人工智能赋能, 优化教学体验

本实验结合了山东大学口腔医学院颞下颌关节与咬合重建科关于 TMD 的诊断、治疗等丰富临床经验, 结合人工智能技术, 在虚拟问诊、智能助教、结果分析等环节实现智能化辅助, 匹配学生需求, 提供个性化学习路径。通过人工智能赋能, 不仅强化了学生对 TMD 知识的理解与记忆, 还提升了临床技能训练的效率和效果, 与传统学习手段相比, 实现了教学体验的提升。

5. 讨论

本虚拟仿真教学系统在 TMD 临床教学中的应用显示出优势。首先, 系统通过虚拟现实和力反馈技术, 模拟了临床环境, 使学生能够在无风险条件下反复练习, 提升操作规范性和诊断信心。其次, 人工智能助教模块通过个性化学习路径和实时反馈机制, 提高了学习效率。此外, 系统的低成本硬件设计使其具有推广价值, 适合在不同规模的医学院校中应用。

传统的 TMD 教学依赖课堂讲授和有限的临床实践, 难以满足复杂病例的教学需求。本系统通过全流程模拟, 覆盖从基础理论到临床操作的各个环节, 使学生能够系统化地掌握有关 TMD 的知识。与现有研究相比, 本系统在以下方面具有优势:

现有研究如吕新颖等[15]讨论了国家级虚拟仿真项目的建设, 强调其在标准化教学中的作用, 但未整合 AI 反馈机制。胡凯等[16]评估了混合式虚拟仿真在病理教学中的应用, 结果显示其提高了诊断技能, 然而, 该研究限于病理图像分析, 未包括触觉模拟或完整诊疗流程。张敏等[17]探讨了高校虚拟仿真环境的构建逻辑, 指出其在资源整合方面的潜力, 但缺乏针对特定疾病如 TMD 的临床思维训练。

这些研究虽奠定了虚拟仿真在医学教育中的基础, 但存在空白: 多数未结合硬件实现触觉反馈, 且个性化评估有限; 此外, 前人工作多聚焦于单一学科或模块, 忽略了跨模块整合。本研究通过引入力反馈设备和 AI 助教, 解决了这些不足: 在现有知识体系中, 本系统定位为 TMD 专属的综合平台, 提供从检查到治疗的全链路模拟和实时个性化指导, 从而凸显其在提升临床思维能力方面的学术贡献。具体而言, 本研究填补了 TMD 教育中触觉模拟和动态反馈的空白, 扩展了虚拟仿真从理论到实践的适用性。

然而, 传统教学在面对面指导和师生互动方面仍具有优势, 尤其在培养学生医学伦理和职业素养方面。因此, 本系统可作为传统教学的补充, 形成“虚实结合”的混合式教学模式。

本系统在 TMD 教学中的应用为其推广至其他医学领域提供了范例。系统不仅适用于口腔医学教育, 还可扩展至骨科、神经科等需要复杂诊断和操作训练的学科。此外, 系统的低成本硬件设计和跨平台兼容性使其适合在欠发达地区推广, 有助于缩小地区间医学教育资源差距。结合 5G 和云计算技术, 系统可实现远程教学和多用户协作, 进一步提升教学资源共享效率。

从社会意义看, 本系统通过提高口腔医学生的临床能力, 有助于提升 TMD 患者的诊疗质量, 减轻患者生理和心理负担。同时, 系统培养的医学人才将为我国口腔医疗体系的可持续发展提供支持, 助力健康中国战略的实施。

6. 结语

本项目通过将人工智能与虚拟仿真技术融合, 为口腔医学教育提供了解决方案。教学实践效果评估表明, 系统提升了学生的学习兴趣、参与度及临床技能, 通过个性化学习路径和实时反馈机制巩固了理论知识, 增强了学生在 TMD 诊断与治疗方案制定中的综合能力。

基金项目

本文收到以下课题资助: 山东大学校级教育教学改革研究项目 2023Y189; 山东大学齐鲁医学特色本科教育教学研究项目 qlyxjy-202338; 山东大学研究生教育教学改革研究项目 XYJG2023091; 山东大学【研·课程思政】(第四期)“全面推进中国式现代化建设”专项 KCSZ23008; 山东大学 2025 年实验技术类研究项目 sy20252403; 山东第一医科大学(山东省医学科学院)教育教学研究课题(JXGGYJ-22221603); 山东大学 2024 年本科教育教学改革与研究项目 2024Y191。

参考文献

- [1] 陈志晔, 胡敏. 颞下颌关节紊乱病的 MRI 评估[J]. 中华口腔医学杂志, 2020, 55(2): 139-144.
- [2] 刘洪臣. 我国颞下颌关节病的研究与临床进展[J]. 中华口腔医学杂志, 2014, 49(7): 385-389.
- [3] 邢盼盼, 马宇锋, 李彧. 颞下颌关节紊乱病的 MRI 图像特点及与临床症状相关性研究进展[J]. 山东医药, 2019, 59(8): 107-110.
- [4] 酆淑婷, 付渊博, 刘璐, 等. 不同频次针刺治疗颞下颌关节紊乱病疼痛的临床疗效比较[J]. 中国针灸, 2025, 45(4): 453-459.
- [5] 沈佩, 张玉鑫, 张大河, 等. 关注青少年颞下颌关节紊乱病[J]. 青春期健康, 2023, 21(16): 52-53.
- [6] Zhao, Y., Zhang, Z., Wu, Y., Zhang, W. and Ma, X. (2011) Investigation of the Clinical and Radiographic Features of Osteoarthritis of the Temporomandibular Joints in Adolescents and Young Adults. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, **111**, e27-e34. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2010.09.076>
- [7] 蒙晓明, 谭桂萍, 艾文杰, 等. 颞下颌关节紊乱病的治疗进展[J]. 广西中医药, 2022, 45(4): 73-75.
- [8] 傅开元. 2014 年新版国际颞下颌关节紊乱病分类及诊断标准解读[J]. 中华口腔医学杂志, 2017, 52(6): 374-376.
- [9] 张师贤, 林心怡, 丁祺鹏, 等. 虚拟仿真技术在口腔解剖生理学教学中的应用与思考[J]. 中国继续医学教育, 2024, 16(23): 37-41.
- [10] 程实, 李跃华, 陈晓勇, 等. 云计算架构下的虚拟仿真实验平台建设[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(12): 238-241.
- [11] 梁广昱, 庞新宇, 李硕杰, 等. 数字孪生在控制课程虚拟仿真实验教学中的应用[J]. 实验技术与管理, 2024, 41(3): 175-183.
- [12] 黄贵懿, 牟芷. 地方本科院校教学质量问题的热点与突破点[J]. 重庆高教研究, 2025, 13(4): 120-127.
- [13] 张萍, 况琰, 庞浩文, 等. 基于虚拟仿真技术的混合式教学在心肺复苏教学中的应用研究[J]. 中国医学教育技术, 2023, 37(4): 451-457.
- [14] 梁熠溥, 程怡娟, 张南南. 基于 5G 虚拟仿真技术的混合式教学模式的探究——以医学实验技术人才培养为例[J]. 教育教学论坛, 2023(37): 120-124.
- [15] 吕新颖, 余文胜. 国家级虚拟仿真实验教学项目建设与思考[J]. 教育教学论坛, 2020(10): 389-390.
- [16] 胡凯, 王德坤, 刘寅, 等. 混合式虚拟仿真实验在长学制医学病理教学中的作用[J]. 实验室研究与探索, 2023, 42(11): 201-205.
- [17] 张敏, 文福安, 刘俊波. 高校虚拟仿真教学环境构建逻辑探讨[J]. 实验技术与管理, 2023, 40(3): 1-6.