·技术与教育·

镜像训练与虚拟仿真结合的手部灵巧度培养对口腔医学生临床前技能与自信心的影响

王 瑶,高 峰,向碧璐,叶岚岚,周美琴,赵书平
深圳大学医学部口腔医学院,广东 深圳 518000

【摘要】目的 探讨镜像训练与虚拟仿真结合对口腔医学生手部灵巧度与自信心的影响。**方法** 选取某医学院口腔医学专业一年级本科生60名,实施为期4周的镜像训练与虚拟仿真联合教学。对训练前后客观指标(手部灵巧度评分、备洞操作评分)、主观指标(自信心与学习满意度)及虚拟仿真系统操作数据进行对比分析。**结果** 训练后,学生手部灵巧度评分由(45.2±8.1)分提升至(62.5±7.6)分,备洞操作评分由(62.1±9.3)分提升至(74.8±8.7)分,差异均具有统计学意义(均$P<0.001$)。同时,训练后自信心评分和学习满意度均高于训练前,差异均具有统计学意义(均$P<0.001$)。Simodont Dental Trainer虚拟仿真系统操作数据显示,任务完成时间缩短23.1%,切削误差率下降29.0%,力控制偏差率下降31.1%。相关性分析显示,自信心变化值与手部灵巧度变化值($r_s=0.470$,$P<0.001$)、备洞操作评分变化值($r_s=0.580$,$P<0.001$)均呈正相关。**结论** 镜像训练与虚拟仿真结合的手部灵巧度培养能提升手部灵巧度与操作质量,增强学习自信心与满意度。

【关键词】镜像训练;虚拟仿真;手部灵巧度;口腔医学教育;单臂研究
【中图分类号】G642;R-4 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1004-5287(2026)05-0645-08
【DOI】10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202605009

The effect of mirror training combined with virtual simulation on developing manual dexterity and enhancing preclinical skills and confidence in dental students

WANG Yao, GAO Feng, XIANG Bilu, YE Lanlan, ZHOU Meiqin, ZHAO Shuping
School of Denstistry, Medical School, University of Shenzhen, Shenzhen 518000, *China*

【Abstract】Objective To explore the effects of combining mirror training with virtual simulation on the manual dexterity and self-confidence of dental students. **Methods** A total of 60 first-year dental students from a certain medical college were selected and subjected to a 4-week combined training program of mirror training and virtual simulation. Objective indicators (dental hand dexterity assessment DMDA, and I-class cavity operation score) and subjective indicators (self-confidence and learning satisfaction) before and after the training were compared and analyzed. **Results** After the training, the DMDA score [(45.2±8.1) increased to (62.5±7.6)] and cavity preparation operation score [(62.1±9.3) increased to (74.8±8.7)] significantly improved compared with those before the training, and the differences were statistically significant (both $P<0.001$). At the same time, the self-confidence and learning satisfaction after the training were higher than those before the training, and the differences were statistically significant (both $P<0.001$). Data of Simodont Dental Trainer virtual simulation system showed that the task completion time was shortened by 23.1%, the cutting error rate decreased by 29.0%, and the force control deviation rate decreased by 31.1%. The correlation analysis reveals that the changes in self-confidence were positively correlated with the improvement of DMDA ($r_s=0.470$, $P<0.001$) and cavity preparation scores ($r_s=0.580$, $P<0.001$). **Conclusion** The

基金项目:深圳大学教学改革研究项目(JG2024135)
收稿日期:2025-11-28
作者简介:王瑶,实验师,硕士,研究方向为口腔医学教育及实验室管理。
通信作者:赵书平,副教授,博士,研究方向为口腔医学。E-mail:zhao110@szu.edu.cn

combination of mirror training and virtual simulation for manual dexterity training can enhance manual dexterity and operational quality, and boost learning self-confidence and satisfaction.

【**Keywords**】 mirror training; virtual simulation; manual dexterity; dental education; single-arm study

近年来,我国高度重视口腔医学人才培养与实践能力建设。2020年,《国务院办公厅关于加快医学教育创新发展的指导意见》明确提出推进以能力为导向的医学教育模式改革、强化临床实践保障机制、建设国家级虚拟仿真实验教学示范课程[1]。与此同时,《中国医学教育改革与发展纲要》明确提出建立医学教育专业设置标准并完善质量评价监控体系[2];在口腔医学领域,《中国口腔医学本科教育教学标准》为全国院校口腔医学教育的培养目标、师资配备、教学硬件条件、实践教学要求提供了规范[3]。在“健康中国”战略与“教育强国”建设背景下,口腔医学教育正从传统理论为主,转向强调技能训练、实践导向与多元评价的新模式。口腔医学临床操作对执业者的手部灵巧度(manual dexterity)与精细操作能力提出了极高要求。良好的手眼协调、稳定的手部控制和空间定向能力,不仅决定了操作精度、器械控制与治疗安全,也直接影响患者体验[4-6]。美国牙科教育协会指出,手部灵巧度是成功完成微尺度操作、保证安全和质量的关键[7]。

1 现状分析

在口腔医学临床操作教学中,尤其是手部灵巧度训练这一关键环节,部分院校训练环节设计薄弱、学生在镜像视野或间接操作环境下的手眼协调能力培养不足、评价方式缺乏量化与持续追踪,导致学生初入临床时适应困难、操作错误率较高[8]。因此,临床前阶段如何高效培养学生的手部灵巧度,提升镜像视野及间接视野操作能力,是口腔医学教育的核心问题之一[9-11]。近年来,随着医学教育的发展,虚拟仿真与镜像训练等新兴教学手段被引入到口腔技能教学中,以期弥补传统模拟教学在反馈及时性、重复训练成本和间接视野训练模式上的不足[12-13]。

虚拟仿真系统通过三维显示、力反馈与实时量化评价,为学习者提供了可控且可重复的练习环境,使学生能够反复练习描线、切削与洞形制备等基本操作,并获取即时的客观反馈与评分,从而加速技能提升并加强肌肉记忆[14-17]。系统评价与多项研究显示,虚拟现实与交互式模拟器在提高口腔医学教学效果与学习效率方面具有积极作用,在临床操作训练中能有效改善学生的操作表现[18-19]。间接视野操作是口腔临床训练中的关键难点之一,传统教学中,学生在镜像视野下的空间感知与反向运动控制往往存在困难[20]。基于镜像的训练装置通过专门的镜像练习,强化手眼协调与镜面空间感知,已被证明能改善学生在间接视野下的操作表现[20]。一项关于镜像训练装置的研究指出,短期镜像训练能显著改善学生在Simodont Dental Trainer虚拟仿真平台上的镜像操作表现和所需时间,并获得学生的积极反馈,提示镜像训练在提升间接视野操作能力方面具备可行性与有效性[20]。从教学理论视角看,镜像训练与虚拟仿真训练的结合并非简单叠加,而是基于不同学习机制的互补性整合,具有产生“1+1>2”协同效应的内在逻辑基础。镜像训练主要作用于学习初期的感知-运动重构阶段,其核心在于通过镜面反转情境,强化学习者在间接视野下的空间表征能力与手眼协调控制,促使大脑完成由直视操作向镜像操作的神经适应与运动映射重组。相关研究表明,镜像操作训练可显著改善学生在反向空间中的操作稳定性与动作规划能力,是间接视野技能形成的重要前置条件[9-11,20]。

相比之下,虚拟仿真训练更契合技能学习理论中“反馈驱动的精细化练习”阶段,其通过高仿真三维场景、力觉反馈及即时量化评价,为学习者提供可重复、可校正的操作练习环境,有助于巩固肌肉记忆、优化动作路径并提升操作一致性[12-14,18]。系统评价显示,虚拟仿真在提升口腔医学生操作精度、时间效率及自我效能感方面具有明确优势,但其效果在很大程度上依赖学习者是否已具备基本的空间感知与操作适应能力[18-19]。

因此,将镜像训练作为前导环节,用以降低间接视野下的认知负荷、建立稳定的空间-动作映射,再通过虚拟仿真进行高频、可反馈的精细化操作训练,符合认知负荷理论与分阶段技能习得模型的基本原则。已有研究指出,多种训练模式的有序组合往往优于单一训练方式,合理的训练序列可促进技能迁移并放大教学效果[14,17]。此外,镜像训练带来的早期操作成功体验,叠加虚拟仿真系统中清晰的量化反馈与成绩可视化,有助于增强学生的自我效能感与学习信心,而自信心提升又被证实可进一步促进技能表现与学习投入,形成正向循环[18]。基于上述理论与实证基础,镜像训练与虚拟仿真训练的联合应用有望在认知适应、操作表现与心理动机三个层面产生协同增效,从而实现优于单一教学手段的综合教学效果。尽管单独的虚拟仿真或镜像训练均显示出积极效果,但将两

者系统地结合用于临床前教学的研究仍相对有限。理论上，镜像训练可优先解决间接视野及空间感知的问题，而虚拟仿真则能在真实感、力觉提示与量化评估上提供长期且可精细调整的练习场景；二者结合，或可在短期内提升学生的镜像操作适应性，并通过仿真化任务巩固操作，从而产生协同效果[20]。已有研究也提示，结合多种训练系统（例如将 Simodont Dental Trainer 与实体模型训练结合）往往优于单一训练系统，训练顺序与组合方式也可能影响教学效果，这为探索镜像训练与虚拟仿真联合模式提供了实践与理论基础[14,17]。此外，除客观操作指标外，学生的主观体验（如自信心、学习满意度）对技能迁移与长期学习动机具有重要影响[18]。Akbas 等[21]关于手部灵巧度训练的研究表明，系统化的训练不仅改善了学生的客观操作质量，也显著提升了其自我效能感。这表明教学干预在心理层面的正面影响可能有助于学生巩固技能并促进临床学习的积极性[22-24]。但是，目前多数研究均采用横向对照或组间比较，较少从纵向角度对联合训练展开评估[14,17,20]。关于镜像训练与虚拟仿真结合的最优训练序列、时长与频率尚缺乏系统化建议，尽管部分系统评价证实虚拟仿真总体有效，但不同设备、训练任务与评估指标之间的差异较大，结论难以形成统一共识[18]。因此，需要针对镜像训练与虚拟仿真联合训练进行严谨的教学研究，以评估其对手部灵巧度、临床前操作技能及自信心的短期影响，并为后续的大样本及随机对照试验研究提供依据[25]。

2　教学改革探索

2.1　研究对象

研究对象为深圳大学口腔医学专业一年级本科生 60 名，尚未接受系统的虚拟仿真或镜像训练。纳入标准：具备基本的口腔器械使用能力；双手功能正常，无视觉或运动障碍；能够全程参与 4 周训练与测评。排除标准：既往接受过虚拟仿真或镜像训练者。所有受试者均签署书面知情同意书。

2.2　教学内容设计

本研究采用单臂前后对照设计，在训练初期采用镜像视觉引导以增强学员间接视野下的操作感知；之后结合虚拟仿真系统进行精细操作任务训练，并实时反馈操作轨迹与结果；最后，通过前测、训练和后测的实验设计，量化评估手部灵巧度提升效果与学生主观体验变化。研究共纳入 60 名口腔医学生，实施为期 4 周的镜像与虚拟仿真联合训练，并在训练前后分别评估客观操作指标与主观指标。本研究旨在验证联合训练能否显著提升学生的手部灵巧度与临床前操作能力，评估联合训练对学生自信心和满意度的影响，为口腔临床前技能教学提供一种可操作、具有即时反馈与心理支持的训练模式。

2.2.1　总体安排

训练周期为 4 周，每周 2 次，每次 40 min，共 8 次训练课程。前 2 周进行镜像训练模块，后 2 周进行虚拟仿真模块。所有训练均在实验教学中心完成，由专业教师进行指导。本研究中手部灵巧度培养方案的系统化实施流程从学生基线测评起点出发。采用国际公认的简化版牙科手部灵巧度评估（dental manual dexterity assessment，DMDA）对学生的手部灵巧度进行系统评估，并结合自信心量表对学生的心理状态进行测评。先在训练前开展测评，接着依次进行镜像视野操作训练、虚拟仿真系统练习两个关键训练环节，训练结束后再次测评，最后进入数据分析与反馈及持续训练-临床应用阶段，形成由测评→训练→再测评→应用的闭环。

2.2.2　镜像训练模块

镜像训练使用自制镜像灵巧度训练装置（Mirrosistant-type），该装置在操作台前方设置 45°镜面，用于实现间接视野操作训练。训练内容包括描线、拾取、织毛衣及钩花练习等，强化手指灵活性与空间协调能力。每次镜像训练结束后，教师进行个别指导与反馈。为增强该教学方案的可复制性与推广价值，镜像训练所采用的自制镜像灵巧度训练装置在结构设计与材料选择上遵循简便、低成本与易获取原则。装置通过镜面和固定支架建立的间接视野训练结构，主体呈倒“T”形，底座用于放置靶标或练习任务板，背部镜面反射出底座内容，从而训练间接观察和操作能力，整体结构便于安装与拆卸。所需材料均来源于常规教学实验耗材或通用五金材料，制作工艺简单，单套装置成本控制在教学可接受范围内，适合在普通实验教学环境中批量配置，装置结构示意及实物展示如图 1 所示。该自制镜像灵巧度训练装置主要由以下部分构成：①底座操作平台，用于放置描线板或练习靶标；②可调节固定支架，用于稳定支撑整体结构并调节操作高度；③45°镜面反射板，用于形成间接视野，是装置的核心组件；④任务操作区，用于完成描线、拾取或编织等精细动作练习。通过上述结构组合，装置可在不改变操作对象位置的情况下，为学习者提供稳定的镜像视野环境，从而训练其在反向空间中的手眼协调能力。上述结构在教学实施中具有明确分工，使该装置在低成本条件下即可实现标准化的镜像训练功能。在教学实施层面，镜像训练课程由

承担临床前技能教学任务的专任教师负责，教师在教学前统一接受镜像视野操作与装置使用的短期培训，以确保指导要点与评价标准的一致性。课程安排纳入常规实践教学计划，与虚拟仿真训练在时间上形成连续衔接，避免额外增加学生课业负担。装置在教学间隙由实验教学中心统一保管与维护，日常管理流程与现有技能实验设备保持一致，从而保证教学运行的稳定性与可持续性。上述实施路径有助于将镜像训练从个别探索转化为可操作、可推广的常规教学环节。



图 1 自制镜像灵巧度训练装置示意图

2.2.3 虚拟仿真模块

虚拟仿真训练采用荷兰 Moog 公司开发的 Simodont Dental Trainer 系统。训练项目按由易到难的原则分为三个阶段。阶段Ⅰ（手部灵巧度模块）：在指定界面中进行切削练习，建立基本的力觉与深度感知。阶段Ⅱ（Ⅰ类洞制备）：训练垂直切削与洞形控制。阶段Ⅲ（Ⅱ类洞制备及间接视野操作）：结合口镜操作完成牙体制备，强化反向空间定位与双手协作。每次训练系统自动记录任务完成时间、切削误差率、力控制偏差率及综合评分，学生可即时查看结果并根据反馈进行自我调整。在完成虚拟仿真训练后，学生进入实体模型实操阶段，使用 3D 打印树脂模型进行真实切削练习，以实现虚拟技能向实体操作的迁移。此环节不属于评估手段，而是作为训练过程的延伸，用于巩固空间感知与手眼协调能力，并为后续 3D 模型评估提供可比样本。

2.3 评估指标

2.3.1 客观指标

手部灵巧度评估：采用简化版 DMDA 进行评估。测试板共设有 80 个直径 2.4 mm 孔的海绵板，使用垂直加压器 5/7 的 7 号端在 1 min 内垂直穿透尽可能多的孔洞，受试者在规定时间内每成功、准确完成 1 个孔位操作计 1 分，评分范围为 0～80 分，分值越高表示手部灵巧度与精细操作能力越好。根据 DMDA 评分标准，计算完成数量及准确率，以此量化学生的手部灵巧度和精细操作能力。

备洞操作评分：备洞操作评价在自制 3D 打印树脂模型上进行，学生在模型上完成Ⅰ类洞制备操作。评估内容包括洞底平整度、深度与宽度控制、轴壁垂直度与边缘线清晰度、洞形对称性与外形完整性、洞底残留物与切削精度等维度，总分 0～100 分，分值越高表示备洞操作质量越好、操作规范性越高，评分标准如表 1 所示。

表 1 3D 打印树脂模型备洞操作教学评分表

评价维度	评分标准
洞底平整度（0～20 分）	0～5 分：洞底明显不平整，可见台阶或波浪状切削痕迹
	6～11 分：洞底基本成形，但平整度较差，仍有较明显起伏
	12～17 分：洞底较平整，仅见轻度不规则
	18～20 分：洞底平整，无明显台阶或波浪形切削痕迹
深度与宽度控制（0～20 分）	0～5 分：深度或宽度明显失控，与标准要求偏差较大
	6～11 分：深度或宽度控制欠佳，整体比例不够协调
	12～17 分：深度与宽度基本符合要求，比例较为合理
	18～20 分：深度 1.5～2.0 mm，宽度与咬合面比例合理，整体均匀一致
轴壁垂直度与边缘线清晰度（0～20 分）	0～5 分：轴壁倾斜明显，边缘线模糊，外形线不连续
	6～11 分：轴壁基本形成，但垂直度不足，边缘线欠清晰
	12～17 分：轴壁较垂直，边缘线较清晰，外形线较平滑
	18～20 分：壁面垂直、线角分明，外形线平滑，边缘过渡自然
洞形对称性与外形完整性（0～20 分）	0～5 分：洞形明显不规则，与标准范例差异较大
	6～11 分：洞形基本形成，但对称性较差，局部外形欠完整
	12～17 分：洞形较规则，与标准范例较接近
	18～20 分：洞形规则，对称性好，与标准范例一致，无塌陷或未切削区域
洞底残留物与切削精度（0～20 分）	0～5 分：洞底残留物较多，切削边缘粗糙，误差较大
	6～11 分：残留物较少，但切削精度一般，边缘欠整齐
	12～17 分：基本无明显残留物，切削边缘较整齐
	18～20 分：无残留染色标记，切削边缘整齐，误差小于 0.2 mm
合计（0～100 分）	各维度得分相加为总分

2.3.2　主观指标

学习满意度：采用5级Likert量表(1分＝非常不满意，2分＝不满意，3分＝一般，4分＝满意，5分＝非常满意)评价学生对教学内容、反馈机制及整体体验的满意程度，分值越高表示学习满意度越高。

自信心评分：采用0～10分视觉模拟量表(visual analogue scale，VAS)评估学生在操作前后对自身技能水平的信心，分值越高表示学生对自身操作能力的信心越强。

2.4　分析手段

2.4.1　测评方法

所有测评在相同环境下，由同一批评定教师完成。训练前后测评间隔(28±2)d，确保评估时无额外干扰性教学。

备洞操作评分由两名教师分别对每位学生进行独立评分，取两名教师评分的均值作为最终得分；两名教师在评分前接受统一培训。

2.4.2　数据分析

所有数据采用SPSS 26.0软件进行统计分析。计量资料经正态性检验后，符合正态分布者以($\bar{x}\pm s$)表示，训练前后比较采用配对样本t检验；学习满意度为1～5分Likert等级资料，各等级以n(%)表示，训练前后比较采用Wilcoxon符号秩检验；不同训练阶段同一研究对象的客观指标采用重复测量方差分析，总体差异有统计学意义时采用Bonferroni法进行事后多重比较；自信心变化值与客观指标变化值之间的相关性采用Spearman秩相关分析。所有检验均为双侧检验，以$P<0.05$为差异有统计学意义。

3　教学效果评估

本研究共纳入口腔医学专业本科生60名，其中男性28名(46.7%)，女性32名(53.3%)；年龄范围18～22岁，平均年龄为(19.6±0.8)岁。所有研究对象在研究开始前均未接受系统的镜像训练或虚拟仿真训练。

3.1　虚拟仿真系统操作表现结果

Simodont Dental Trainer系统自动记录的操作数据结果显示，学生在训练后任务完成时间缩短，切削误差率与力控制偏差率降低，系统综合评分提高。具体而言，平均任务完成时间由(158.3±35.6)s降至(121.7±28.4)s，切削误差率由(18.6±6.3)%降至(13.2±4.8)%，力控制偏差率由(15.1±5.9)%降至(10.4±4.3)%，系统综合评分由(62.4±8.2)分提高至(78.3±7.9)分(均$P<0.001$)，如表2所示。

表2　学生Simodont Dental Trainer系统操作表现比较(n＝60)

指标	训练前	训练后	变化率[(训练后－训练前)/训练前×100，%]	t	P
平均任务完成时间[($\bar{x}\pm s$)，s]	158.3±35.6	121.7±28.4	－23.1	10.540	＜0.001
切削误差率[($\bar{x}\pm s$)，%]	18.6±6.3	13.2±4.8	－29.0	7.820	＜0.001
力控制偏差率[($\bar{x}\pm s$)，%]	15.1±5.9	10.4±4.3	－31.1	8.110	＜0.001
系统综合评分[($\bar{x}\pm s$)，分]	62.4±8.2	78.3±7.9	25.4	13.450	＜0.001

进一步分阶段分析显示，从阶段Ⅰ到阶段Ⅲ，平均任务完成时间由(142.3±26.4) s缩短至(121.7±28.4) s，缩短14.5%；切削误差率由(16.4±5.2)%降至(13.2±4.8)%，下降19.5%；系统评分由(66.8±7.2) 分提高至(78.3±7.9) 分，提高17.2%。这表明学生在逐级递进的仿真任务中技能获得呈累积性提升，如表3所示。

表3　学生虚拟仿真训练不同阶段操作表现比较(n＝60)

指标	阶段Ⅰ	阶段Ⅱ	阶段Ⅲ	变化率[(阶段Ⅲ－阶段Ⅰ)/阶段Ⅰ×100，%]	F	P
平均任务完成时间[($\bar{x}\pm s$)，s]	142.3±26.4	129.7±24.9	121.7±28.4	－14.5	24.310	＜0.001
切削误差率[($\bar{x}\pm s$)，%]	16.4±5.2	14.1±4.7	13.2±4.8	－19.5	31.080	＜0.001
系统综合评分[($\bar{x}\pm s$)，分]	66.8±7.2	74.5±7.8	78.3±7.9	17.2	26.540	＜0.001

注：Simodont Dental Trainer系统未对虚拟仿真训练不同阶段的力控制偏差率单独记录，故未纳入本表。

3.2　手部灵巧度与备洞操作评分结果

客观指标分析结果显示，训练后学生手部灵巧度和备洞操作技能水平均得到提升。DMDA评分由(45.2±8.1)分提高至(62.5±7.6)分，差异具有统计学意义(t＝9.030，$P<0.001$，Cohen's d＝1.17)。备洞操作评分由(62.1±9.3)分提高至(74.8±8.7)分，

差异具有统计学意义(t=14.060,P<0.001,Cohen's d=1.36)。效应量均为大效应,表明镜像与虚拟仿真联合训练在提升备洞精度与操作规范性方面效果显著,如表4所示。

表4 学生训练前后客观指标比较(n=60)

指标	训练前[($\bar{x}\pm s$),分]	训练后[($\bar{x}\pm s$),分]	训练前后差值[差值(95%CI),分]	t	P	Cohen's d
DMDA评分	45.2±8.1	62.5±7.6	17.3[13.8,20.7]	9.030	<0.001	1.17
备洞操作评分	62.1±9.3	74.8±8.7	12.7[10.6,14.9]	14.060	<0.001	1.36

3.3 自信心与学习满意度结果

主观指标分析结果显示,训练后学生的自信心和学习满意度均提升。自信心评分由(4.4±1.1)分提升至(7.2±0.9)分,差异具有统计学意义(t=15.480,P<0.001)。学习满意度1~5分的构成比分别由训练前5.0%、23.3%、36.7%、25.0%、10.0%,变为训练后0.0%、1.7%、11.7%、28.3%、58.3%,差异具有统计学意义(Z=−6.420,P<0.001)。

3.4 自信心与客观指标变化的相关性分析

采用Spearman秩相关分析自信心与客观指标变化的相关性。结果显示,自信心变化值与备洞操作评分变化值呈正相关(r_s=0.580,P<0.001),与DMDA评分变化值亦呈正相关(r_s=0.470,P<0.001)。结果表明,学生在镜像与虚拟仿真训练后,自信心的提升与其手部灵巧度增强及操作能力进步均呈正向关联,提示心理信心与技能表现的改善具有同步性。

4 讨论

本研究以镜像训练与虚拟仿真联合教学为干预手段,围绕手部灵巧度、操作技能、学习自信心及满意度,对口腔医学生临床前阶段的综合能力进行了系统评估。研究结果表明,该联合训练模式在短期内对上述维度均产生了正向影响,为口腔临床前技能教学提供了有价值的实践依据。上述结果与既往关于镜像训练或虚拟仿真单一教学模式的研究结论基本一致[26-28],提示联合训练模式在临床前教学中具有良好的可行性和效果。

在手部灵巧度方面,本研究中DMDA评分在训练后获得了具有大效应量的提升(Cohen's d=1.17)。既往研究表明,镜像训练有助于改善学习者在间接视野条件下的空间感知能力和精细动作控制,对临床前阶段手眼协调能力的建立具有积极作用[26-28]。镜像训练通过强化学习者在反向空间中的手眼协调与空间感知能力,有效降低了学生在间接视野操作中的认知负荷,为后续虚拟仿真阶段的精细化操作训练奠定了感知-运动基础[9-11,20]。在此基础上,虚拟仿真系统通过高仿真三维场景与即时量化反馈,进一步促进了肌肉记忆的巩固和动作路径的优化,使手部灵巧度的提升得以持续强化[14,17]。本研究结果与相关研究报道的趋势一致[26-27],两种训练方式在作用机制上的互补性,是联合训练产生协同效果的重要原因。

在操作技能层面,本研究从备洞操作评分和Simodont Dental Trainer系统操作表现进行了综合评估,结果均显示出一定程度的改善。备洞操作评分表明,学生在洞底平整度、深度与宽度控制、轴壁垂直度等核心操作维度上得到了提升;Simodont Dental Trainer系统数据进一步揭示,任务完成时间缩短23.1%,切削误差率与力控制偏差率分别下降约29.0%和31.1%,提示学生不仅在操作精度上有所提高,在操作效率和力觉控制方面亦同步进步。既往研究已证实,虚拟仿真教学通过高仿真操作环境和量化反馈机制,在提高操作精度、规范性及训练效率方面具有优势,可作为传统教学的有效补充[27-30]。本研究结果与上述研究结论一致[29-30]。分阶段分析显示,从阶段Ⅰ到阶段Ⅲ,学生的各项操作指标呈持续改善趋势(任务时间缩短14.5%,切削误差率下降19.5%,系统综合评分提升17.2%)。该递进式提升表明,虚拟仿真系统内由易到难的任务序列与前期镜像训练共同构成了有效的技能累积路径,使学生在逐步提升任务复杂度的过程中保持了稳定进步,提示前期镜像训练所强化的空间感知与反向操作能力成功迁移至后续复杂任务中,初步验证了两种训练方式在序列组合上的合理性[14,17,20]。

在主观评价方面,相关研究显示,系统化技能训练和虚拟仿真教学有助于提升学生的学习自信心和自我效能感[18,21]。本研究中,学生的学习自信心和满意度在训练后获得了显著提升,且自信心变化值与DMDA评分改善(r_s=0.470,P<0.001)及备洞评分改善(r_s=0.580,P<0.001)均呈显著正相关,提示技能表现的客观进步与主观自信心的增强之间存在相互促进的动态关系。自我效能感的增强可进一步促进学习投入和技能表现,形成正向循环,与既往研究报道相符[22-24]。在本研究的联合训练模式中,镜像训练阶段提供的早期操作成功体验,以及虚拟仿真系统

中清晰的量化反馈与成绩可视化，共同构成了增强学生自信心的双重机制，提示联合训练在改善学生主观学习体验方面亦具有积极作用。

本研究仍存在一定局限性。研究采用单臂前后对照设计，缺乏对照组，难以完全排除时间因素及其他教学干预的影响；样本量相对有限，研究结果的外推性仍需进一步验证；研究主要评估短期训练效果，尚未对技能保持及临床阶段迁移效果进行长期随访。未来可在扩大样本量的基础上开展随机对照研究，以进一步验证联合训练模式的长期教学效果[25]。

5　结束语

本研究通过对口腔医学专业学生实施为期 4 周的镜像训练与虚拟仿真联合教学，验证了该模式在短期内显著提升学生手部灵巧度、备洞操作技能、系统操作表现、学习自信心及满意度的有效性。数据结果显示，学生在DMDA评分、3D模型备洞操作评分及Simodont Dental Trainer系统操作综合指标上均获得显著提升，自信心与满意度同步增强，且自信心与操作表现呈显著正相关。镜像训练阶段强化了学生的间接视野与空间反向操作能力，虚拟仿真阶段通过可量化反馈与高仿真任务进一步巩固技能，实现了认知-练习-表现的正向迁移，验证了联合训练模式的协同增效作用。本研究在教学理念上实现了从“单一技能训练”向“系统能力培养”的转变。镜像训练提供了低风险、可重复的空间感知与手眼协调练习，而虚拟仿真系统则构建了一个可测、可控、可反馈的沉浸式学习环境，使教学过程形成“测评—训练—再测评—反馈—优化”的完整闭环。学生在多维环境中经历由视觉认知到操作执行的渐进式学习路径，不仅提升了操作精度与协调性，也增强了学习的自主性与反思性。该模式契合以能力为导向的口腔教育改革方向，为构建基于数据驱动的教学质量评价体系提供了可行的范式，推动了临床前技能教学从依赖于经验向标准化、可追踪的教学质量管理转型。本研究仍存在对照组缺失、样本量有限及长期随访不足等局限。未来应在多中心、大样本的基础上，开展随机对照研究，进一步验证联合训练对临床综合技能与长期表现的影响。同时，可拓展研究范围，探讨镜像与虚拟仿真在复杂操作中的应用潜力。此外，应关注不同训练时序、频率与强度的最优组合模式，并结合成本效益分析与设备共享机制，探索普适性更强、推广性更高的教学路径。随着医学教育数字化、智能化发展，镜像训练与虚拟仿真融合的复合式教学模式有望成为口腔医学生手部灵巧度能力培养的重要支撑，为实现技能训练的精准化、可视化与持续性改进提供新思路。

参考文献

[1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于加快医学教育创新发展的指导意见（国办发〔2020〕34号)[EB/OL]. (2020-09-17) [2025-10-22]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2020-09/23/content_5546373.htm.

[2] 黄南珍. 学《纲要》与时俱进图发展再创辉煌：中等卫生学校办学思路的调整与创新[J]. 时珍国医国药，2004，15(9)：640-641.

[3] 王松灵，王邦康，李翠英，等. 中国口腔医学本科教育标准(讨论稿)[J]. 中国口腔颌面外科杂志，2009，7(1)：88-96.

[4] Roy E，Bakr M M，George R. The need for virtual reality simulators in dental education：A review[J]. The Saudi Dental Journal，2017，29(2)：41-47.

[5] Yoshida Y，Yamaguchi S，Wakabayashi K，et al. Virtual reality simulation training for dental surgery[J]. Studies in Health Technology and Informatics，2009，142：435-437.

[6] Lugassy D，Levanon Y，Pilo R，et al. Predicting the clinical performance of dental students with a manual dexterity test[J]. PLoS One，2018，13(3)：e0193980.

[7] Tekin B，Izci M，Pelin I C，et al. Comparison of hand structure and function in early and late term dental students[J]. Irish Journal of Medical Science，2025，194(5)：1937-1944.

[8] Pérez-Chicharro M，González-Olmo M J，Nieto-Moraleda C，et al. Improving dental students' dexterity and strength：An intervention study[J]. BMC Medical Education，2025，25(1)：1436.

[9] Knight G W，Guenzel P J. Design and validation of mirror skills instruction[J]. Journal of Dental Education，1994，58(10)：752-761.

[10] Rau G M，Rau A K. Training device for dental students to practice mirror-inverted movements[J]. Journal of Dental Education，2011，75(9)：1280-1284.

[11] Lugassy D，Levanon Y，Shpack N，et al. An interventional study for improving the manual dexterity of dentistry students[J]. PLoS One，2019，14(2)：e0211639.

[12] Perry S，Bridges S M，Burrow M F. A review of the use of simulation in dental education[J]. Simulation in Healthcare，2015，10(1)：31-37.

[13] Serrano C M，Atenas M J，Rodriguez P J，et al. From virtual reality to reality：Fine-tuning the taxonomy for extended reality simulation in dental education[J]. European Journal of Dental Education，2025，29(3)：486-496.

[14] Wei Y R, Peng Z J. Application of Simodont virtual simulation system for preclinical teaching of access and coronal cavity preparation[J]. PLoS One, 2024, 19(12): e0315732.

[15] Zafar S, Lai Y, Sexton C, et al. Virtual Reality as a novel educational tool in pre-clinical paediatric dentistry training: Students' perceptions[J]. International Journal of Paediatric Dentistry, 2020, 30(6): 791-797.

[16] Bakr M M, Cameron A, Idris G, et al. A comparative analysis of perceptions and evaluations of Simodont® Dental Trainer: A decade of virtual simulation[J]. Frontiers in Oral Health, 2025, 6: 1646299.

[17] Yuan C Y, Wang X Y, Dong Y M, et al. Effect of digital virtual simulation system for preclinical teaching of access and coronal cavity preparation[J]. Chinese Journal of Stomatology, 2021, 56(5): 479-484.

[18] Algarni Y A, Saini R S, Vaddamanu S K, et al. The impact of virtual reality simulation on dental education: A systematic review of learning outcomes and student engagement[J]. Journal of Dental Education, 2024, 88(11): 1549-1562.

[19] Moussa R, Alghazaly A, Althagafi N, et al. Effectiveness of virtual reality and interactive simulators on dental education outcomes: Systematic review[J]. European Journal of Dentistry, 2022, 16(1): 14-31.

[20] Chu F Q, Zheng J, Wang Q R, et al. Mirror training device improves dental students' performance on virtual simulation dental training system[J]. BMC Medical Education, 2023, 23(1): 315.

[21] Akbas A. Hand-focused strength and proprioceptive training for improving grip strength and manual dexterity in healthy adults: A systematic review and meta-analysis[J]. Journal of Clinical Medicine, 2025, 14(19): 6882.

[22] Foucher R, Morin L. Self-efficacy and learning in flexible training systems: Data from five research projects[J]. Psychologie du Travail et des Organisations, 2007, 13(3): 45-58.

[23] Núñez-Regueiro F, Boissicat N, Gimbert F, et al. Involving the body to improve letter knowledge and script: An experimental study in French kindergarten[J]. Educational Psychology Review, 2024, 36(3): 86.

[24] Shah T, Shetty M, Bose M, et al. A study of fine and manual hand dexterity in people with Parkinson's disease[J]. Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine, 2019, 31(1): 93-100.

[25] Ma L, Lai H B, Zhao W. Evaluating the effectiveness of a virtual simulation platform for apexification learning[J]. Dentistry Journal, 2024, 12(2): 27.

[26] Leung A L, Yeung C, Chu S, et al. Use of computer simulation in dental training with special reference to simodont[J]. Dentistry Journal, 2021, 9(11): 125.

[27] Farag A, Hashem D. Impact of the haptic virtual reality simulator on dental students' psychomotor skills in preclinical operative dentistry[J]. Clinics and Practice, 2021, 12(1): 17-26.

[28] Orlańska A I, Czekańska M, Domanowska D, et al. Virtual reality as a novel approach for dental students' education: A preliminary survey study[J]. Journal of Dentistry, 2022, 121: 103967.

[29] Lu J Z, Zhang L L, Ye L. Construction and application of dental virtual reality simulation teaching system in China: Necessity and strategies[J]. European Journal of Dental Education, 2025, 29(3): 570-575.

[30] Strojny P, Dużmańska-Misiarczyk N. Measuring the effectiveness of virtual training: A systematic review[J]. Computers & Education: X Reality, 2023, 2: 100006.

[31] Hey J, Schweyen R, Kupfer P, et al. Influence of preparation design on the quality of tooth preparation in preclinical dental education[J]. Journal of Dental Sciences, 2017, 12(1): 27-32.