·临床教学·

虚拟仿真模拟备洞训练在提升口腔医学本科生手部稳定性的应用效果

班晶浩[1]　郭静[1]　邱新毓[1]　黄鹂[2]　韩冰[1]　关玲霞[1]　童娟[1]　赵悦[1]　轩昆[1]　郭皓[1]
[1]口颌系统重建与再生全国重点实验室/国家口腔疾病临床医学研究中心/陕西省口腔疾病临床医学研究中心/第四军医大学口腔医院口腔预防科，西安 710032；[2]口颌系统重建与再生全国重点实验室/国家口腔疾病临床医学研究中心/陕西省口腔疾病国际联合研究中心/第四军医大学口腔医院急诊与综合临床科，西安 710032
通信作者：郭皓，Email：guohaofmmu@163.com

【摘要】 目的　探索Simodont虚拟仿真培训系统联合牙科操作手感训练模型在口腔医学本科生牙科操作手感稳定性教学训练中的应用与效果评价。**方法**　选取空军军医大学2020级五年制口腔医学专业45名学生为研究对象，通过Simodont虚拟仿真培训系统联合牙科操作手感训练模型，专项训练其手部操作的稳定性。训练后采取客观标准评价2次课堂的学生得分，统计课前及2次课后O'Connor镊子测试的用时，并进行问卷调查。使用SPSS 19.0进行配对 t 检验和单因素方差分析。**结果**　学生第1次课后和第2次课后，使用Simodont虚拟仿真培训系统的得分分别是64.50 ± 6.11和74.16 ± 4.26，使用牙科操作手感训练模型的得分分别是70.83 ± 11.99和79.17 ± 8.40，差异均具有统计学意义（P<0.05）。学生在课前和2次课后进行O'Connor镊子测试的时间分别为（6.06 ± 0.70）min、（5.79 ± 0.59）min和（5.28 ± 0.68）min，第2次课后测试时间与前2次测试时间之间差异均具有统计学意义（P<0.05）。**结论**　采用Simodont虚拟仿真培训系统联合牙科操作手感训练模型进行教学，有助于提高学生的手部操作稳定性，为学生手部精细化操作能力的改善提供参考和借鉴。

【关键词】 稳定性；　Simodont虚拟仿真培训系统；　牙科操作手感训练模型；　精细化操作
【中图分类号】 R-05
基金项目：空军军医大学校级专项教学课题（2024ZX05）；空军军医大学第三附属医院教育研究课题（2023kqjyyj-10）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20241212-02215

Application and effectiveness evaluation of virtual simulation-based training for dental cavity preparation in improving hand stability of dental undergraduates

Ban Jinghao[1], Guo Jing[1], Qiu Xinyu[1], Huang Li[2], Han Bing[1], Guan Lingxia[1], Tong Juan[1], Zhao Yue[1], Xuan Kun[1], Guo Hao[1]
[1]State Key Laboratory of Oral & Maxillofacial Reconstruction and Regeneration/National Clinical Research Center for Oral Diseases/Shaanxi Clinical Research Center for Oral Diseases/Department of Preventive Dentistry, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, China; [2]State Key Laboratory of Oral & Maxillofacial Reconstruction and Regeneration/National Clinical Research Center for Oral Diseases/Shaanxi International Joint Research Center for Oral Diseases/Department of General Dentistry and Emergency, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, China
Corresponding author: Guo Hao, Email: guohaofmmu@163.com

【Abstract】 Objective　To explore the application and effectiveness of Simodont Dental Trainer (SDT) combined with Dental Cavity Preparation Training Aid (DCPTA) in training of hand stability in dental operation for undergraduate dental students. **Methods**　A total of 45 students in a five-year stomatology program enrolled in 2020 at the Air Force Medical University were selected to train for hand stability using

SDT and DCPTA. After the training, objective criteria were used to assess the scores of the students following the first and second classes. The times spent on the three O'Connor tweezer dexterity test before and after the two classes were recorded, followed by a questionnaire survey. SPSS 19.0 was used for statistical analysis. **Results** After the two classes, the scores of students using the SDT were 64.50 ± 6.11 and 74.16 ± 4.26, and the scores from the DCPTA were 70.83 ± 11.99 and 79.17 ± 8.40, respectively. The difference between the scores after the two classes was statistically significant for both SDT and DCPTA (P<0.05). The times for the O'Connor tweezer dexterity test before and after each of the two classes were (6.06 ± 0.70), (5.79 ± 0.59), and (5.28 ± 0.68) minutes; there were significant differences between the last test and the previous two tests (P< 0.05). **Conclusions** The SDT combined with the DCPTA contributes to improve the hand stability of the students, which provides a reference for the improvement of the hand fine motor skills of students.

【**Key words**】 Stability; Simodont dental trainer; Dental cavity preparation training aid; Fine motor operation

Fund program: University-level Specialized Teaching Research Project of Air Force Medical University (2024ZX05); Education Research Project of the Third Affiliated Hospital of Air Force Medical University (2023kqjyyj-10)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20241212-02215

口腔临床医学是一门实践性极强的学科，要求口腔医生兼具手眼协调和空间感知等精细运动能力[1-2]，这样才能够在局限的操作空间和视觉条件下完成临床诊疗需要的各种精细操作。手部精细运动能力主要包括手部操作的稳定性、灵巧性以及协调性等，其中操作稳定性是手部精细运动能力的核心[3-4]。因此，国内多所医学教育院校在精进学生临床操作技能方面进行了积极的探索[5]。目前，国内对于牙科训练手部稳定性的认识尚未统一，多数口腔医学院校在第 4 学年才开展手部稳定性操作训练，并且以雕刻石膏模型、蜡型以及仿真头颅模型等传统训练方式为主[6]，该训练内容和方法虽然在一定程度上能够提升学生的手部操作技能，但却存在操作感差、缺乏真实触觉反馈等各种问题[7-9]。

目前，数字化虚拟仿真培训系统逐渐兴起，并用于口腔临床操作前的技能训练，该系统提供的 3D 数字化模块能够模拟常见口腔疾病的治疗过程，以便于学生直观理解[10-12]，其力反馈技术及仿真音效可模拟各种临床操作环境，客观的自动评分系统有利于教学效果的评估[13]。然而其力反馈技术模拟临床操作的真实性一直以来都存在争议[14-15]。因此，本研究利用自主研发的牙科操作手感训练模型，联合 Simodont 虚拟仿真培训系统应用于五年制口腔医学专业二年级学生，在口腔医学专业前伸课阶段进行牙科操作的手感稳定性训练及效果评估，以进一步优化口腔医学本科生临床技能培训路径，为后续专业课程学习及临床实习奠定基础。

1　对象与方法

1.1　研究对象

选取空军军医大学 2020 级五年制口腔医学专业二年级学生 45 名（其中男生 22 名，女生 23 名）。所有学生均已接受过高速涡轮机的使用培训，在前期课堂上对牙体结构、质地等知识也已经熟悉，所有学员对本研究内容均已知情同意。

1.2　主要材料与仪器

包括 Simondont 虚拟仿真培训系统（CB19350-301，MOOG 公司，荷兰，图 1）、牙科操作手感训练模型（此模型表层为仿真牙釉质层，其硬度和弹性模量与牙釉质相接近，厚约 2 mm；其下层为仿真牙本质层，上述两层结构中间有一层厚约 0.2 mm 的黑色涂料层，此层模拟釉牙本质界。模型表面每个格子内均有一个绘制好的图案，图案外周有两圈黑色边界，两边界之间范围为容错区，宽度约为 0.2 mm，磨刻范围不能超出外圈边界，图 2）和 O'Connor 镊子手协调功能训练系统（#32022，Lafayette 公司，美国，用于评估受试者手部操作稳定性，图 3）。

1.3　研究方法

教学整体设计流程如图 4 所示。45 名学生按随机数字表法分为 3 组，每组 15 人，每组学生均在 Simodont 虚拟仿真培训系统和牙科操作手感训练模型上完成两阶段的洞型制备训练，并进行操作考核，最后对 3 组学生的成绩进行统一综合比较，从而

评价课堂效果。本研究利用2种仿真训练设施进行联合教学，分别在课前、课后通过主观指标、客观指标及综合能力评价指标对该方法进行多角度验证。

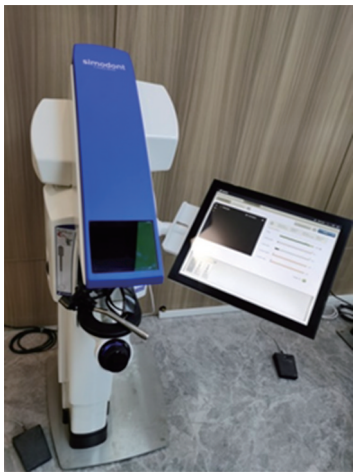


图1　Simondont虚拟仿真培训系统

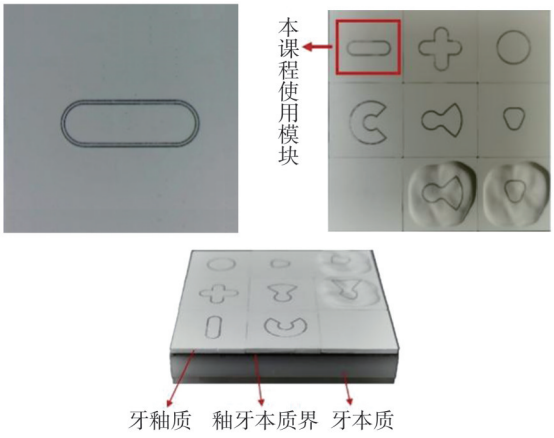


图2　牙科操作手感训练模型



图3　O'Connor镊子手协调功能训练系统

1.4　教学实施

1.4.1　Simodont数字化虚拟仿真培训系统训练

本研究选用了操作系统内置的“MAN001001”模块，使学生能够在虚拟环境下感受磨刻备洞的阻力感和操作震动感。教师示教整个操作流程，强调运用指—腕—肘相结合的支点、涡轮机先快后慢以及车针水平平扫等操作技巧来制备隧道洞型。该系统自带评分体系（表1）。教学需明确磨除区域（红色）、可偏移区域（绿色）以及不可磨区域（米色）。学生根据要求，反复练习，操作练习时间为30 min，记录最高分。一周后进行第2次训练，练习时间30 min，再次记录最高分。

1.4.2　牙科操作手感训练模型训练

学生选择模型中“隧道模块”，使用高速涡轮机球钻和圆头锥形金刚砂车针（TR-26F），喷水降温条件下进行模拟釉质层备洞操作。教师示教时指明在边缘线内区域进行磨刻，强调运用指—腕—肘相结合的支点、涡轮机先快后慢以及车针大幅度水平平扫等操作技巧来制备隧道洞型，洞型制备完成后要求洞底完整暴露且不能够磨穿黑色仿釉牙本质界层，黑色内圈边缘线内的组织要完全磨除，至少完整保留黑色外圈边缘线。学生自行操作，限制操作时间60 min。完成的模型由3名高年资教师分别进行评分，取平均成绩。1周后进行第2次训练，方法同前，再次进行评分。

1.5　教学效果评估

1.5.1　2种仿真教具训练后客观评价

Simodont虚拟仿真培训系统训练后客观评价：学生使用Simodont虚拟仿真培训系统训练MAN001001模块备洞后，系统会依据洞型制备情况，客观给出评分（表1）。牙科操作手感训练模型训练后客观评价：牙科操作手感训练模型备洞训练结束后，由3名高年资教师分别根据模型的洞底、侧壁以及洞缘线的预备情况进行评分，取平均成绩（表2）。

1.5.2　问卷调查

在第1次教学活动结束后，采用问卷调查对学生的学习效果进行主观评价，学生从体位仿真性、手感仿真性、可视性、支点训练效果、阻力可控性、稳定性训练感受、操作难易程度等方面对Simodont虚拟仿真培训系统和牙科操作手感训练模型的训练效果进行评价。

1.5.3　O'Connor镊子手部测试

使用O'Connor镊子手协调功能训练系统在课前和两次课程结束后，分别记录学生使用优势手在底板上插入100根钢针的总时间，进行对比分析。

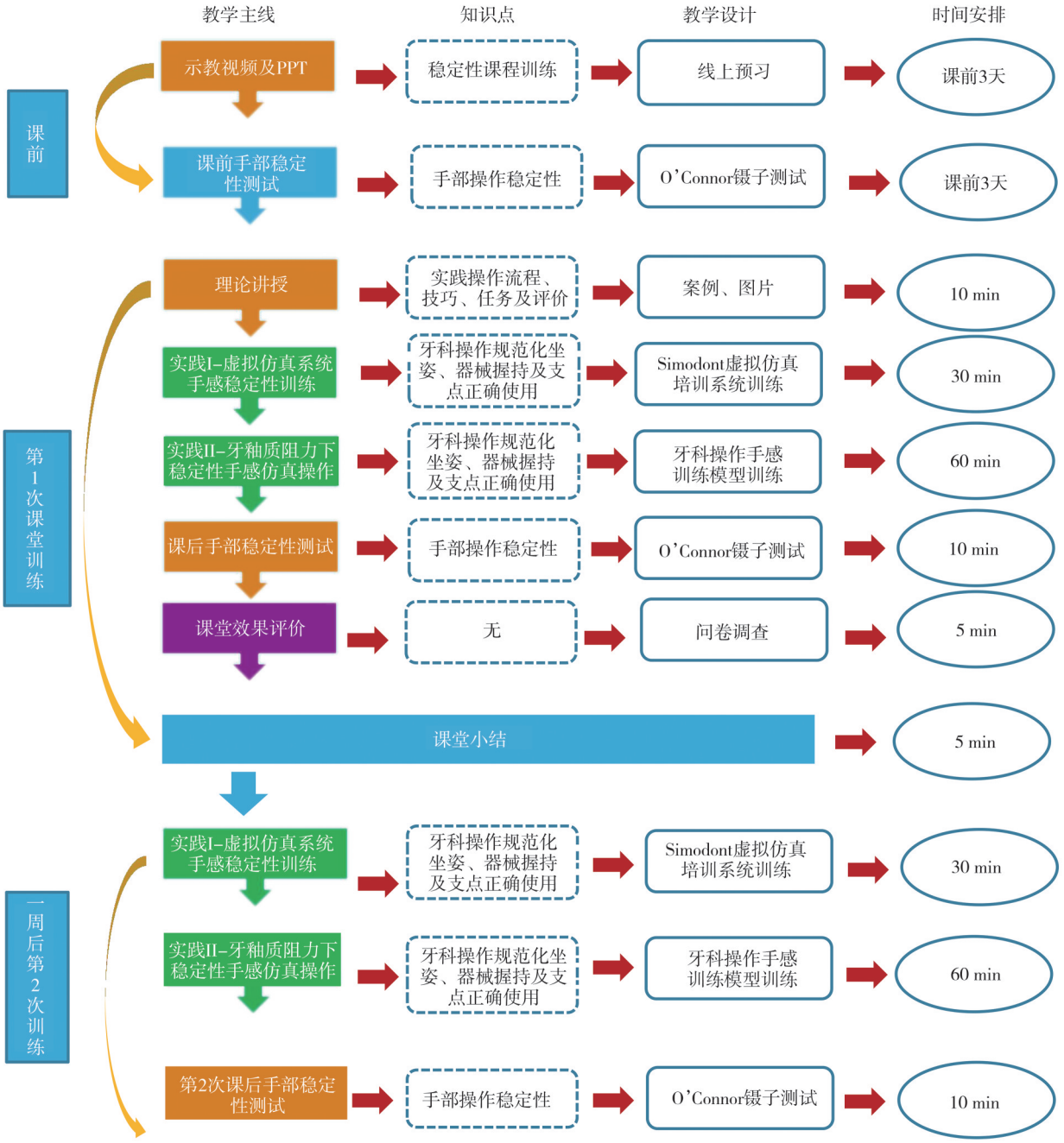


图4　教学整体设计流程示意图

表1　Simodont虚拟仿真培训系统客观评分标准

序号	Simodont虚拟机操作训练评分指标	完成率
①	任务完成量	0%~100%
②	洞底可偏倚范围(绿色)	0%~100%
③	侧壁可偏倚范围(绿色)	0%~100%
④	洞底不可磨范围(米黄色)	0%~100%
⑤	侧壁不可磨范围(米黄色)	0%~100%
⑥	总得分	④和⑤均为0%，得分=(①-②-③)×100 ④或⑤>0%，得分=0

1.6　统计学方法

使用SPSS 19.0对相关数据进行统计处理，符合正态分布的计量资料均采用均数±标准差表示。使用配对t检验分别分析2次Simodont虚拟仿真培训系统和牙科操作手感训练模型训练得分是否有统计学差异，调查问卷使用“构成比”分析学生使用两种教具设备训练后的主观感受，使用单因素方差分析(One-Way ANOVA)检验3次O'Connor镊子手部测试时间之间有无统计学差异。检验水准α=0.05。

表2　牙科操作手感训练模型评分标准

模型评分指标	总分	评分标准	得分
洞底平整度	60	①洞底平直无台阶 ②黑色涂料层暴露完整 ③洞底-侧壁线角清晰圆缓 任意一项不达标者，均各扣10分	
侧壁平直度	20	①台阶少于3处，计15分 ②台阶数目为3~5处，计10分 ③台阶多于5处，计5分	
洞缘线圆缓度	20	①洞缘线圆缓无线角，计20分 ②线角小于3处，计15分 ③线角数目为3~5处，计10分 ④线角多于5处，计5分 ⑤外圈黑色边缘线破坏，直接扣除10分	

2　结果

2.1　Simodont虚拟仿真培训系统和牙科操作手感训练模型教学评价

经过2次课程训练后，45名学生使用Simodont虚拟仿真培训系统的得分在第1次为64.50 ± 6.11，第2次课程得分为74.16 ± 4.26，差异有统计学意义；42名学生使用牙科操作手感训练模型训练结果如表3所示，学生第1次得分为70.83 ± 11.99，第2次得分为79.17 ± 8.40，差异有统计学意义（表3）。

2.2　课堂效果评估

本研究发放问卷45份，有效问卷回收率为100.00%。学生普遍认为2种训练方法均能够提升手部操作稳定性。45名学生中有28名学生（62.22%）认为Simodont虚拟仿真培训系统能够模拟牙科椅位操作，因此体位仿真性更高；而超过60%的学生认为牙科操作手感训练模型在磨刻时有水雾和飞沫的干扰，因而更接近临床操作环境，而且由于模型的材料质地更接近牙釉质，整体操作难度较大，为了达到更好的稳定性，学生需要选择合适的支点，并加强支点支撑，从而能够更好地控制阻力，因此该模型的手感仿真性及稳定性训练效果更值得肯定（图5）。

2.3　O'Connor镊子手部测试

学生在课前、第1次和第2次课后使用O'Connor镊子手部测试的时间结果显示：3次测试时间分别为（6.06 ± 0.70）min、（5.79 ± 0.59）min、（5.28 ± 0.68）min。重复测量方差分析结果显示：该班级学生在经过2次课程训练后其手部稳定性较第1次课前有显著提升（F=50.15，P<0.05）。组间两两比较结果显示，在经过第1次课程训练后其手部稳定性与课前相比并无明显提升（P=0.054），1周后再经过1次课程的训练后，该班级学生的手部稳定性较第1次课前和第1次课后均有了显著提升。

表3　牙科操作手感训练模型磨刻训练结果（分，$\bar{x} \pm s$）

评分标准	第1次课	第2次课	t值	P值
洞底平整度	41.67 ± 7.70	47.26 ± 5.86	−5.46	<0.001
侧壁平整度	13.57 ± 3.18	15.48 ± 2.66	−4.58	<0.001
洞缘圆缓度	15.60 ± 3.35	16.43 ± 3.18	−2.86	0.007
总分	70.83 ± 11.99	79.17 ± 8.40	−6.23	<0.001

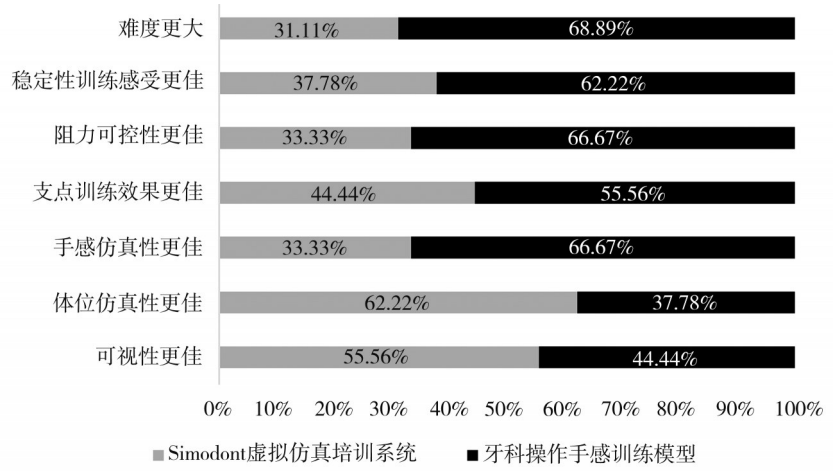


图5　Simodont虚拟仿真培训系统及牙科操作手感训练模型实践训练感受主观评价

3　讨论

手部稳定性在口腔医生诊疗精细化操作中起关键作用[16-17]。研究表明，临床上因手部不稳等因素导致深龋患牙去龋露髓发生率可达50.50%，修复体经精细化牙体预备比常规牙体预备使用效果可提升20.00%[18-19]。手部稳定性是神经反馈控制与手部肌肉收缩相协调的结果[4]，大量的手部训练能够提升其稳定性，从而能够更为容易地进行手部精细化操作[20-21]。本研究结果亦证实了这一观点：随着练习时间和次数的增加，学生使用Simodont虚拟仿真培训系统和牙科操作手感训练模型进行操作时，得分均得到显著提高，这说明了学生经过训练手部稳定性有了一定程度的提升。

目前针对本科生的手部稳定性操作训练还处于探索阶段，多数院校对于口腔本科生的训练还以传统的仿真头颅模型或离体牙操作训练为主[22]。Simodont虚拟仿真培训系统因其优异的交互式体验及力反馈特点，能够弥补传统手部稳定性训练的缺陷，得到国内各大口腔医学专业院校的青睐。因此，本次课程将Simodont虚拟仿真培训系统用于训练学生手部操作能力，在模拟备洞时，反复训练学生手部短距离运动，精细训练阻力下手部控制能力，随着练习次数的增加，有效提升手部稳定性。然而，由于Simodont虚拟仿真培训系统的力反馈触觉难以模拟出真实的临床环境[14-15]，为了能够模拟真实的临床力反馈触觉感受，本课程创新性地使用了真实模拟牙釉质的牙科操作手感训练模型，该模型表层部分采用新型互穿网络结构仿牙釉质技术[23-24]，更接近天然牙釉质材料的硬度、弹性模量、磨削特性，其能够让学生切实感受磨刻牙釉质的力反馈触觉，且能够模拟磨刻时的临床环境，从而弥补Simodont虚拟仿真培训系统的使用局限性。

本次课程的课堂效果评估结果显示，学生在了解牙科操作手感训练模型的设计后，普遍认为牙科操作手感训练模型由于质地接近牙釉质且能够模拟真实的临床环境，能够更为有效地提高牙科操作的手感仿真效果和精细操作效果。当然，牙科操作手感训练模型也有着需要完善之处：磨刻过程中会产生大量粉尘，污染环境；考核以自主定义标准为主，打分依据不客观[14,22]。因此本次课程将牙科操作手感训练模型与Simodont虚拟仿真培训系统联合使用，二者可互相弥补不足，从而可能会获得更为贴近临床环境的实践感受。

O'Connor镊子手部测试是一种评估健康个体对特定精细运动适应性的测试方法[21]。研究证实，O'Connor镊子测试可以有效测试学生手部灵活性[25-26]，而手部稳定性是评估手灵活性最具特点、最可靠的因素之一[27-28]，其与手部灵活度呈现紧密的正相关关系[29-30]，因此，本研究通过O'Connor镊子测试来检测学生在经过2次课程培训后其手部操作稳定性有无提升。研究显示，随着练习课程的增加，学生的O'Connor镊子测试时间逐渐减少，在第2次课程结束后，测试时间较第1次课课前测试明显减少，这提示在经过2次课程的练习后，学生的手部稳定性可得到显著提升。为了确保教学效果的科学性、可靠性，本次课程从客观、主观及手部稳定性测试等多方面对教学效果进行评估测试。从虚拟到现实条件下训练学生的手部稳定性操作，为后期临床操作打下基础。同时，通过学生的操作练习结果、对2种培训系统效果反馈和对比，利用分析数据评判两种虚拟仿真教具的训练效果，为本课程的进一步优化提供理论依据。

4　结语

本研究结果表明，使用Simodont虚拟仿真培训系统联合牙科操作手感训练模型用于提升学生手部稳定性操作技能，在经历2次课程的培训后，即可获得明显效果。关于Simodont虚拟仿真培训系统和牙科操作手感训练模型能否互为补充，转化为临床操作技能，还需要更多的长效研究来支持。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　班晶浩、郭静、邱新毓、黄鹂：论文构思、撰写论文；韩冰、关玲霞、童娟、赵悦：项目实施、数据分析；轩昆、郭皓：审订论文、技术指导

参考文献

[1] Schwibbe A, Kothe C, Hampe W, et al. Acquisition of dental skills in preclinical technique courses: influence of spatial and manual abilities [J]. Adv Health Sci Educ Theory Pract, 2016, 21(4): 841-857. DOI: 10.1007/s10459-016-9670-0.

[2] Tannyhill RJ. Development of competencies in oral and maxillofacial surgery training [J]. Oral Maxillofac Surg Clin North Am, 2022, 34(4): 505-513. DOI: 10.1016/j.coms.2022.03.012.

[3] Karakostis FA, Hotz G, Tourloukis V, et al. Evidence for precision grasping in Neandertal daily activities [J]. Sci Adv, 2018, 4(9): eaat2369. DOI: 10.1126/sciadv.aat2369.

[4] Sharma N, Venkadesan M. Finger stability in precision grips [J].

Proc Natl Acad Sci USA, 2022, 119(12): e2122903119. DOI: 10.1073/pnas.2122903119.

[5] Ben-Gal G, Weiss EI, Gafni N, et al. Testing manual dexterity using a virtual reality simulator: reliability and validity [J]. Eur J Dent Educ, 2013, 17(3): 138-142. DOI: 10.1111/eje.12023.

[6] 田馨, 付梅, 杨凯, 等. 模型牙与离体牙联合应用于口腔本科生教学的研究[J]. 北京口腔医学, 2012, 20(4): 233-234. DOI: 10.3969/j.issn.1006-673X.2012.04.020.

[7] Alotaibi KZ, Altuwaijri A. Clinical dental student perception of oral and maxillofacial surgery as a specialty at qassim university [J]. J Pharm Bioallied Sci, 2024, 16(Suppl 2): S1647-S1651. DOI: 10.4103/jpbs.jpbs_1227_23.

[8] Perry S, Bridges SM, Burrow MF. A review of the use of simulation in dental education [J]. Simul Healthc, 2015, 10(1): 31-37. DOI: 10.1097/SIH.0000000000000059.

[9] 王富, 田敏, 马赛. Simodont虚拟仿真系统在口腔修复牙体预备教学中的应用[J]. 中国实用口腔科杂志, 2022, 15(1): 36-40. DOI: 10.19538/j.kq.2022.01.007.

[10] Zheng P, Yang J, Lou J, et al. Design and application of virtual simulation teaching platform for intelligent manufacturing [J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 12895. DOI: 10.1038/s41598-024-62072-5.

[11] Liu K, Xu Y, Ma C, et al. Efficacy of a virtual 3D simulation-based digital training module for building dental technology students' long-term competency in removable partial denture design: prospective cohort study [J]. JMIR Serious Games, 2024, 12: e46789. DOI: 10.2196/46789.

[12] Aliaga I, Pedrera-Canal M, Vera V, et al. Preclinical assessment methodology using a dental simulator during dental students' first and third years [J]. J Oral Sci, 2020, 62(1): 119-121. DOI: 10.2334/josnusd.18-0424.

[13] 石巧, 侯建霞. 虚拟现实技术在口腔诊疗操作培训中的应用[J]. 国际口腔医学杂志, 2015, 42(1): 69-74. DOI:10.7518/gjkq.2015.01.018.

[14] de Boer IR, Lagerweij MD, Wesselink PR, et al. The effect of variations in force feedback in a virtual reality environment on the performance and satisfaction of dental students [J]. Simul Healthc, 2019, 14(3): 169-174. DOI: 10.1097/SIH.0000000000000370.

[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]. Int J Paediatr Dent, 2020, 30(6): 791-797. DOI: 10.1111/ipd.12648.

[16] Kivell TL. Evidence in hand: recent discoveries and the early evolution of human manual manipulation [J]. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2015, 370(1682): 20150105. DOI: 10.1098/rstb.2015.0105.

[17] Marzke MW. Tool making, hand morphology and fossil hominins [J]. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2013, 368(1630): 20120414. DOI: 10.1098/rstb.2012.0414.

[18] 王丽, 吴菲, 肖墨, 等. 基于深度学习的龋源性牙髓炎露髓风险预测[J]. 华西口腔医学杂志, 2023, 41(2): 218-224. DOI:10.7518/gjkq.2023.2022418.

[19] 谢晓飞. 牙体预备对口腔修复临床效果的改善作用研究[J]. 健康管理, 2021(7): 15.

[20] 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. DOI: 10.1371/journal.pone.0193980.

[21] 李石保, 陈朝辉, 王忠义, 等. 聚甲基丙烯酸甲酯-氧化锆复合材料的制备[J]. 国防科技大学学报, 2005, 27(4): 32-36. DOI: 10.3969/j.issn.1001-2486.2005.04.008.

[22] 辛蔚妮, 黄静娜, 邹波, 等. Simodont虚拟仿真口腔培训系统在临床前手部灵巧度训练中的初步应用[J]. 中华医学教育探索杂志, 2021,20(10): 1160-1164. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200706-00639.

[23] Farooq U, Teuwen J, Dransfeld C. Toughening of epoxy systems with interpenetrating polymer network (IPN): a review [J]. Polymers (Basel), 2020, 12(9): 1908. DOI: 10.3390/polym12091908.

[24] Hatta M, Shinya A, Gomi H, et al. Effect of interpenetrating polymer network (IPN) thermoplastic resin on flexural strength of fibre-reinforced composite and the penetration of bonding resin into semi-IPN FRC post [J]. Polymers (Basel), 2021, 13(18): 3200. DOI: 10.3390/polym13183200.

[25] Levanon Y, Lugassy D, Pilo R, et al. Assessment of the modified O' Connor Tweezer Dexterity and Purdue Pegboard test for use among dental students [J]. J Dent Educ, 2023, 87(4): 533-539. DOI: 10.1002/jdd.13137.

[26] 童娟, 轩昆, 邱新毓, 等. 虚拟仿真复合模拟备洞在口腔医学专业学生手灵活性训练中的应用探索[J]. 中华医学教育杂志, 2023, 43(10): 774-778. DOI: 10.3760/cma.j.cn115259-20221028-01362.

[27] Martin JA, Ramsay J, Hughes C, et al. Age and grip strength predict hand dexterity in adults [J]. PLoS One, 2015, 10(2): e0117598. DOI: 10.1371/journal.pone.0117598.

[28] Flatters I, Mushtaq F, Hill LJB, et al. The relationship between a child' s postural stability and manual dexterity [J]. Exp Brain Res, 2014, 232(9): 2907-2917. DOI: 10.1007/s00221-014-3947-4.

[29] Marmon AR, Pascoe MA, Schwartz RS, et al. Associations among strength, steadiness, and hand function across the adult life span [J]. Med Sci Sports Exerc, 2011, 43(4): 560-567. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181f3f3ab.

[30] Yoshitake Y, Ikeda A, Shinohara M. Robotic finger perturbation training improves finger postural steadiness and hand dexterity [J]. J Electromyogr Kinesiol, 2018, 38: 208-214. DOI: 10.1016/j.jelekin.2017.11.011.

（收稿日期:2024-12-12）
（本文编辑:唐宗顺）