

虚拟仿真系统在口腔局部麻醉教学中应用效果评价

张宝平 何璐璐 庞晓婵 李四红 张凯亮

兰州大学口腔医学院(医院) 730000

通信作者:张凯亮,Email:zhangkl@lzu.edu.cn

【摘要】 目的 评价虚拟仿真系统应用于口腔局部麻醉教学的效果。方法 于2019年7月选择兰州大学口腔医学院2017级口腔医学专业五年制本科生60人为研究对象,采用随机数字表法将学生分为对照组(C组)、仿头模组(F组)和虚拟仿真组(V组),每组20人。全部学生统一接受理论知识培训及观看操作演示,结束后进行理论考试。将C组学生两两分组互相进行下牙槽神经阻滞麻醉,由专业教师进行评分;F组和V组分别在仿头模和虚拟仿真系统上进行练习,结束后进行麻醉操作考核。操作考核后三组统一进行第二次理论考试,额外再对F组和V组进行问卷调查。采用SPSS 22.0软件对数据进行统计学处理,各分组前后两次理论成绩的比较采用配对样本 t 检验,三组操作成绩和麻醉效果评分的比较采用单因素方差分析,组间操作成绩和麻醉效果评分的比较则采用独立样本 t 检验。结果 麻醉理论知识考核结果显示,V组学生经过练习后,第二次理论成绩明显提高,与第一次理论成绩相比差异具有统计学意义($t=3.768, P=0.001$),而F组和C组学生的第二次理论成绩与第一次理论成绩相比,差异无统计学意义($t_F=2.079, P_F=0.051; t_C=0.538, P_C=0.597$)。在操作考核中,三组的考核成绩分别为C组(82.1 ± 2.6)分、F组(83.9 ± 1.5)分、V组(85.7 ± 2.5)分,差异具有统计学意义($F=12.629, P<0.001$)。麻醉效果考核成绩分别为C组(63.5 ± 6.7)分、F组(68.5 ± 5.9)分、V组(74.0 ± 6.8)分,差异具有统计学意义($F=13.157, P<0.001$)。调查问卷结果显示,大多数学生认为虚拟仿真系统更能够提高操作技能、理论知识水平及学习兴趣。结论 在口腔外科麻醉的临床前教学过程中,虚拟仿真系统更有利于提高口腔医学生的操作技能和理论知识的掌握,值得推广。

【关键词】 虚拟系统; 口腔麻醉; 临床前教学; 教学效果

基金项目:兰州大学“双一流”引导专项—拔尖创新人才培养项目(316-561119101)

引用著录格式:张宝平,何璐璐,庞晓婵,等.虚拟仿真系统在口腔局部麻醉教学中应用效果评价[J/CD].中华口腔医学研究杂志(电子版),2020,14(2):121-127.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2020.02.010

Evaluation of virtual simulation system in the teaching of oral local anesthesia

Zhang Baoping, He Lulu, Pang Xiaochan, Li Sihong, Zhang Kailiang

School / Hospital of Stomatology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Corresponding author: Zhang Kailiang, Email: zhangkl@lzu.edu.cn

【Abstract】 Objective To evaluate the effect of applying virtual simulation system to local anesthesia teaching in oral surgery. **Methods** Sixty undergraduates from grade 2017 five-year program of school of stomatology, Lanzhou University were selected as research subjects in July 2019. The students were divided into three groups by using the random number table, named control group (group C), head-simulator group (group F) and virtual simulation system group (group V), with 20 students in each group. Three groups received theoretical knowledge training and watched the operation demonstration. After the training and demonstration, they took the theoretical examination. Then group C students were divided into ten groups in pairs for inferior alveolar nerve block anesthesia, with professional teachers scoring the scores. The students in group F were trained on the head simulator and the students in group V were trained on the virtual simulation system. After the training, the inferior alveolar nerve block anesthesia

injection operation examination and the second theoretical examination for three groups were conducted. Questionnaire surveys were conducted for group F and group V. SPSS 22.0 statistical software was used for statistical analysis of the data. The comparison of two theoretical scores of each group was analyzed by paired sample *t*-test. The comparisons of the operation scores and anesthesia effect scores of different groups were analyzed by one-way ANOVA. The comparisons of the operation scores and anesthesia effect scores between two groups were analyzed by independent-sample *t* test. **Results** After the practice, the theoretical scores of the students in group V had been improved greatly ($t_V = 3.768, P_V = 0.001$). However, the difference between the second theoretical scores and the first theoretical scores of students in group F and group C was not statistically significant ($t_F = 2.079, P_F = 0.051; t_C = 0.538, P_C = 0.597$). The operation assessment scores were 82.1 ± 2.6 for group C, 83.9 ± 1.5 for group F and 85.7 ± 2.5 for group V, and the difference was statistically significant ($F = 12.629, P < 0.001$). Meanwhile, in the anesthesia effect assessment, the scores of three groups were 63.5 ± 6.7 for group C, 68.5 ± 5.9 for group F, and 74.0 ± 6.8 for group V, and the difference was statistically significant ($F = 13.157, P < 0.001$). The results of the questionnaire showed that most students thought that the virtual simulation system can improve the operation skills, theoretical knowledge level and learning interest. **Conclusions** In the preclinical teaching process of anesthesia injection, the virtual simulation system is more conducive for dental students to improve the operation skills and theoretical knowledge, which is worth promotion in the preclinical teaching of local anesthesia.

【Key words】 Virtual system; Oral local anesthesia; Preclinical teaching; Teaching effect

Fund program: “Double First Class” Guided Project—Innovative Talents Training Project of Lanzhou University(316-561119101)

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2020.02.010

常规的外科医生培训是一个漫长过程,需要经过严格训练和反复练习才能成为一位有经验的外科医生^[1]。口腔颌面外科医生也不例外,但口腔医学又不同于其它医学专业。相比于其他医学专业,口腔医生在工作空间和能见度有限的条件下进行操作,这对口腔医生的培养提出了更高的要求^[2]。数字化策略作为未来口腔行业的发展趋势,已经应用于口腔临床和临床前教育中,这将极大地挑战传统的临床教育和实践方式^[3]。虚拟仿真作为数字化口腔的重要组成部分^[4],在口腔领域的应用越来越广泛^[5],也在不断地挑战传统的教学模式。

局部麻醉是口腔各个学科中最常用的技能之一^[6]。现今全新的口腔治疗理念强调无痛舒适化的治疗体验,同时口腔操作的成功与否与麻醉效果的好坏也有着密切的联系^[7]。此外,鉴于口腔颌面部复杂的解剖结构特点,这就要求口腔医生不仅要有较强的专业性,还应具备扎实的临床操作技能。目前熟知的口腔医学教育模式,绝大多数的临床技能是靠传统实验室教学来获得的,比如传统的局麻教学主要是单纯课堂讲解或在实验室仿头模上练习麻醉技术。这种方法单一,情景再现性较差,无法真正模拟实时交互式人体口腔环境实感,并且不具

备实时步步纠错功能。本研究通过比较传统麻醉教学模式和虚拟仿真系统教学模式的教学效果,为本科教学大纲口腔外科麻醉教学提供新的实践教学思路。

资料与方法

一、研究对象

于2019年7月选取兰州大学2017级口腔医学专业五年制本科的60名学生作为研究对象。教师均为兰州大学口腔医院外科医师。本研究的开展严格遵循兰州大学口腔医学院临床科学研究伦理委员会的标准(审查批准函编号:LZUKQ-2019-36),均取得受试者的知情同意书。

二、研究方法

1. 仪器与材料:安麻施麻醉虚拟仿真系统(DEV0300009ADC,天津天堰科技有限公司),口腔教学仿真头模系统(Ⅱ型,NISSIN,日本),阻滞麻醉训练用模型(OM3279,上海康为医疗),牙髓电活力测试仪(OR-N102,中国医疗器械有限公司),一次性口腔器械盘,5 mL注射针管,2%盐酸利多卡因注射液(国药准字H31021071,上海朝晖药业有限公司),手套,帽子,口罩,碘仿,棉球。



图1 教师进行麻醉示教及学生练习麻醉操作 1A:教师在人体上操作下牙槽神经阻滞麻醉的过程;1B:F组学生在仿头模上练习下牙槽神经阻滞麻醉的操作 图2 V组学生在虚拟仿真系统上练习麻醉操作 2A:学生在虚拟仿真系统上练习下牙槽神经阻滞麻醉的操作;2B:学生在虚拟仿真系统上模拟注射麻药的过程

2. 研究过程:将60名学生按随机数字表法分为3组,分别为对照组(C组)、仿头模组(F组)和虚拟仿真组(V组),每组20人。实验开始前,统一接受时长为1.5 h的理论知识授课,之后带教老师在人体上进行操作演示(图1A),确保每组学生均能熟悉本实验涉及的相关解剖部位及操作步骤。V组额外学习0.5 h虚仿真系统的使用及维护。在理论授课结束后,三组进行相关的理论知识考试。C组学生在考试结束后两两分组互相进行下牙槽神经阻滞麻醉注射(下牙槽神经+舌神经+颊神经一针法麻醉),操作步骤由专业带教老师进行评分。

操作步骤评分涉及询问,体位及灯光,无菌原则的掌握,进针点、方向及深度,回抽及注射5个方面(表1)。麻醉效果的评判分为3个部分:起效时间、麻醉深度、持续时间(表2)。起效时间为注射后下唇开始麻木的时间^[8]。分别在局麻药注射前和注射后5 min,采用牙髓电活力测试仪测试牙髓活力值,来判定麻醉深度^[9]。持续时间为患者自麻醉起效至下唇局部麻木消失的时间^[8]。

F组在仿头模上进行练习(图1B),V组在虚拟仿真系统上进行练习(图2),时长均为2 h。练习结束后,F组和V组进行下牙槽神经阻滞麻醉操作考核,评判标准同对照组。考核结束后3组进行第二次理论考试。

在考核结束后,对F组和V组学生发放问卷,采用无记名式的方法进行调查。问卷内容涉及操作系统的准确度,模拟的真实性,主观感受操作后的提高程度以及学习兴趣与自信心的提高四方面内容(图3)。共发放调查问卷40份,回收40份,回收比例为100%,符合统计要求。

口腔外科麻醉教学效果评价问卷调查

1. 本次口腔外科麻醉教学很好地激发了我学习麻醉技术的兴趣。
A. 非常同意 B. 同意 C. 一般 D. 不同意 E. 非常不同意
2. 本次口腔外科麻醉教学练习能够很好地模拟临床上操作的感觉。
A. 非常同意 B. 同意 C. 一般 D. 不同意 E. 非常不同意
3. 本次口腔外科麻醉教学练习对消毒过程、解剖部位、进针深度的评判很准确。
A. 非常同意 B. 同意 C. 一般 D. 不同意 E. 非常不同意
4. 在本次练习过程中,我充分利用了实验课的时间。
A. 非常同意 B. 同意 C. 一般 D. 不同意 E. 非常不同意
5. 在本次练习结束后,我进入临床的自信心有了很大的提高。
A. 非常同意 B. 同意 C. 一般 D. 不同意 E. 非常不同意
6. 在本次练习结束后,我对于麻醉的基本理论知识掌握得很好。
A. 非常同意 B. 同意 C. 一般 D. 不同意 E. 非常不同意
7. 在本次练习结束后,我的临床操作水平得到了很大的提高。
A. 非常同意 B. 同意 C. 一般 D. 不同意 E. 非常不同意
8. 本次口腔外科麻醉教学的教学效果很好。
A. 非常同意 B. 同意 C. 一般 D. 不同意 E. 非常不同意

图3 口腔外科麻醉教学效果评价调查问卷

表1 下牙槽神经阻滞麻醉操作考核评分标准^[10]

| | | 操作点 | 分值 |
|----------------------|-------|--|----|
| 麻醉前准备 | 问诊 | (1)获取主诉所需麻醉的牙位 | 5 |
| | | (2)询问全身疾病史 | 5 |
| | | (3)询问过敏史 | 5 |
| | | (4)其他:询问是否在月经期,是否饥饿 | 5 |
| | 体位,灯光 | (1)调节体位至合适位置 | 5 |
| | | (2)打开灯光以及灯光调节是否符合临床操作规范 | 5 |
| | 消毒 | (1)无菌原则:口罩帽子手套的佩戴,无菌区域的划分 | 10 |
| | | (2)消毒方法:干棉球擦拭后,碘伏棉签擦拭3遍,从中央向四周 | 5 |
| | | (3)消毒区域:注射点及其外周,牙列,口周皮肤消毒 | 10 |
| | 麻醉操作 | (1)进针位置:翼下颌韧带中点外3~4 mm | 10 |
| | | (2)进针方向:大张口,针筒位于对侧前磨牙处,高于骀平面1 cm,与中线呈45° | 10 |
| | | (3)进针深度:2~2.5 cm | 10 |
| | | (4)回抽是否无血 | 10 |
| (5)注射速度:局麻药物1 mL/min | | 5 | |

表2 下牙槽神经阻滞麻醉效果评价标准

| 评分项目 | | 分数 |
|------|----------------------|----|
| 起效时间 | 1 min内 | 30 |
| | 1~5 min | 20 |
| | 5~10 min | 10 |
| | 大于10 min | 0 |
| 麻醉深度 | 牙髓活力差值>50或牙髓活力测定值>80 | 40 |
| | 30<牙髓活力差值<50 | 30 |
| | 10<牙髓活力差值<30 | 20 |
| | 牙髓活力差值<10 | 10 |
| 持续时间 | 持续时间>2 h | 30 |
| | 1 h<持续时间<2 h | 20 |
| | 30 min<持续时间<1 h | 10 |
| | 持续时间<30 min | 0 |

三、统计学处理方法

应用SPSS 22.0软件对数据进行统计学分析。对各分组前后两次理论成绩的比较采用配对样本 t 检验,三组的操作成绩和麻醉效果评分的比较采用单因素方差分析,组间操作成绩和麻醉效果评分的比较则采用独立样本 t 检验。以 $P<0.05$ 认为差异具有统计学意义。

结 果

一、麻醉理论知识评价情况

全部学生的理论成绩如表3所示,全体学生第一次理论考试的成绩为(66.4±4.0)分,差异无统计学意义($P=0.477$)。由此避免了理论知识掌握水平的不同而带来的操作考核结果的差异。

在练习结束后,V组学生的理论成绩有了明显提高,差异具有统计学意义($t=3.768, P=0.001$)。

F组和C组学生的第二次理论成绩与第一次理论成绩相比,差异不具有统计学意义($t_F=2.079, P_F=0.051; t_C=0.538, P_C=0.597$)。

表3 学生麻醉理论知识考核结果(分, $\bar{x}\pm s$)

| 组别 | 学生数 | 第一次理论成绩 | 第二次理论成绩 | t 值 | P 值 |
|----|-----|----------|----------|-------|-------|
| C组 | 20 | 67.2±4.0 | 68.0±5.4 | 0.538 | 0.597 |
| F组 | 20 | 65.6±4.0 | 68.8±5.3 | 2.079 | 0.051 |
| V组 | 20 | 66.4±4.0 | 74.0±6.5 | 3.768 | 0.001 |

注:理论成绩总分为100分

二、麻醉临床操作考核情况

麻醉临床操作考核结果如表4所示,三组学生的操作成绩之间具有统计学意义($F=12.629, P<0.001$)。在经过练习后,F组和V组的学生们的操作成绩均高于C组($t_{CF}=2.599, P_{CF}=0.013; t_{CV}=4.339, P_{CV}<0.001$)。其中,V组学生的操作成绩优于F组,差异具有统计学意义($t=2.682, P=0.012$)。

表4 学生麻醉临床操作考核结果(分, $\bar{x}\pm s$)

| 组别 | 学生数 | 操作成绩 | 麻醉效果 |
|-------|-----|----------|----------|
| C组 | 20 | 82.1±2.6 | 63.5±6.7 |
| F组 | 20 | 83.9±1.5 | 68.5±5.9 |
| V组 | 20 | 85.7±2.5 | 74.0±6.8 |
| F 值 | | 12.629 | 13.157 |
| P 值 | | <0.001 | <0.001 |

注:操作成绩和麻醉效果总分均为100分

三组学生操作的麻醉效果之间也具有统计学意义($F=13.157, P<0.001$)。在练习后,F组和V组学生操作的麻醉效果优于C组($t_{CF}=2.508, P_{CF}=0.017; t_{CV}=4.914, P_{CV}<0.001$)。同时V组学生操作

表5 口腔外科麻醉教学问卷调查结果(人)

| 项目内容 | 组别 | 非常同意 | 同意 | 一般 | 不同意 | 非常不同意 | 同意率(%) |
|------------------------------------|----|------|----|----|-----|-------|--------|
| 本次口腔外科麻醉教学很好地激发了我学习麻醉技术的兴趣。 | V组 | 4 | 10 | 6 | 0 | 0 | 70 |
| | F组 | 2 | 3 | 8 | 5 | 2 | 25 |
| 本次口腔外科麻醉教学练习能够很好地模拟临床上操作的感觉。 | V组 | 4 | 8 | 8 | 0 | 0 | 60 |
| | F组 | 0 | 3 | 7 | 8 | 2 | 15 |
| 本次口腔外科麻醉教学练习对消毒过程、解剖部位、进针深度的评判很准确。 | V组 | 3 | 9 | 7 | 1 | 0 | 60 |
| | F组 | 1 | 5 | 8 | 5 | 1 | 30 |
| 在本次练习过程中,我充分利用了实验课的时间。 | V组 | 3 | 7 | 9 | 1 | 0 | 50 |
| | F组 | 2 | 3 | 11 | 3 | 1 | 25 |
| 在本次练习结束后,我进入临床的自信心有了很大的提高。 | V组 | 6 | 7 | 7 | 0 | 0 | 65 |
| | F组 | 1 | 5 | 9 | 5 | 0 | 30 |
| 在本次练习结束后,我对于麻醉的基本理论知识掌握得很好。 | V组 | 4 | 12 | 4 | 0 | 0 | 80 |
| | F组 | 0 | 5 | 6 | 9 | 0 | 25 |
| 在本次练习结束后,我的临床操作水平得到了很大的提高。 | V组 | 3 | 12 | 5 | 0 | 0 | 75 |
| | F组 | 0 | 4 | 6 | 9 | 1 | 20 |
| 本次口腔外科麻醉教学的教学效果很好。 | V组 | 5 | 12 | 3 | 0 | 0 | 85 |
| | F组 | 2 | 3 | 9 | 5 | 1 | 25 |

注:V组和F组每组均为20人,同意率(%)=(非常同意的人数+同意的人数) \div 20 \times 100%

的麻醉效果显著优于F组,差异具有统计学意义($t=2.737, P=0.009$)。

三、口腔外科麻醉教学效果问卷调查结果评价

口腔外科麻醉教学问卷调查结果如表5所示,大多数学生认为虚拟仿真系统在模拟临床操作、激发学习兴趣、操作的准确度和反馈的及时性等方面具有优势,并且认同在虚拟仿真系统上练习操作后能够提高理论知识和操作水平,以及增强进入临床的自信心。

讨 论

实验教学是医学生教育培养获得基本操作技能的主要手段。目前,国内传统教学模式依旧是口腔医学教学所采用的主要方式。传统教学主要是单纯课堂讲解或在仿头模上进行练习,这两种教学方式均与真实口腔临床情景相差甚远,导致学生从实验室练习转换到临床操作时缺乏信心,手法生疏。在仿头模上练习相较于课堂讲解教学效果好,但依旧不能满足口腔医学生的训练要求。一方面仿头模与患者口内真实环境存在着较大的差别,不能及时反馈操作的偏差,导致学生在临床操作时定位不准麻醉的进针点和进针方向。另一方面在仿头模上练习仅仅局限于注射麻药的操作,忽略了前期的医患沟通,导致学生在临床上缺乏对于患者的人文关怀。

相比基于仿头模的口腔麻醉教学,基于虚拟仿

真系统的教学具有较大优势。通过在虚拟仿真系统上练习后,V组学生对于理论知识和操作技能的掌握都得到了明显的提高。在仿头模上练习后,F组学生成绩提高不明显,理论成绩与C组差异无统计学意义,操作成绩与麻醉效果与C组相比差异具有统计学意义,但与V组相比,操作成绩与麻醉效果较差。结果表明,学生在虚拟仿真系统上练习后,能够更好地掌握理论知识,形成完整的知识体系,更加准确地了解进针点,进针方向以及深度,操作过程更加规范,同时麻醉效果也优于在仿头模上练习的效果。问卷调查显示,学生认为虚拟仿真系统能够激发学习兴趣,同时提高理论水平和操作能力。以往有证据表明,相比于传统教学模式,学生对于新奇的教学模式更加感兴趣^[11]。Suebnuarn等^[12]的研究发现,使用虚拟触觉技术提高了口腔医学生在基础牙医训练中的表现。Buchanan^[13]也提及当采用新的技术来训练学生时,学生的学习曲线明显得到提高。这与本实验结果一致。

虚拟仿真教学是基于虚拟仿真系统上进行练习,虚拟仿真系统主要由仿头模、传感器、显示器、L型台、主机以及注射器和镊子等组成(图4),该系统通过视觉、触觉指导学生练习麻醉的操作过程(图2)。虚拟仿真系统内有练习和考核两种模式,这两种模式中包含了接诊界面、麻醉界面、讲解页面以及评分页面(图5)。虚拟仿真系统中的临床接诊板块,能够真实地模拟医院情境,模拟临床的就

诊环境和患者就诊信息。在这个过程中,学生独立接诊问诊以及操作(图5A),虚拟病人的使用可以提供一个好的方法来学习和磨练学生的面试技巧、病史记录、记录保存和治疗计划的制定等能力,通过使用虚拟病人交互音频/视频元素,学生可以在更真实的模拟情境中体验到与虚拟病人的交互^[14]。



图4 安麻施麻醉虚拟仿真系统组成 A:仿头模;B:L型台;C:传感器;D:镊子和注射器;E:显示器;F:主机

杜塞尔多夫经典教学课程证实了将理论与实践相结合,能够使学生在医学学习期间更好地发展临床专业知识和提高操作能力^[15]。虚拟仿真系统上的练习模式具有详细的相关知识讲解,学生进行麻醉操作的同时(图5B),还可以回顾所学习的理论知识(图5C),达到理论知识和实践操作相结合的目的。

自我评价是高认知领域批判性思维的重要组

成部分,有助于提高学习者的学习成绩和自主学习能力^[16]。虚拟仿真系统上具有评分反馈系统(图5D),学生可以衡量自己的操作水平,了解自己需要改进的地方^[17]。学生可以大胆尝试,并且及时意识到自己操作的不足,反复纠正练习,培养学生形成正确的操作习惯,从而避免在临床上出现这一系列的错误而增加患者的痛苦,在这个过程中也可以增加医学生的勇气与自信。

但虚拟仿真系统自身也具有一定的局限性,相比于传统教学,虚拟仿真教学需要专门的操作设备,以及运行流畅的计算机,投入的花费较多。虽然虚拟仿真系统的软件已经可以创造相对简单和完善的诊疗过程,但是详细的模型需要更多的努力和特殊的软件,例如在问诊板块可以增加更多选项,使得问诊更加灵活和自然,其次触觉反馈和3D模拟方面也有待提高。同时,使用虚拟仿真系统需要进行校准,以确保评分反馈系统的准确性。这些问题仍需要计算机-医学技术结合的快速的发展去完善。

最后,对于虚拟仿真系统是否能够完全取代仿头模,成为临床前教学的主流模式仍存在争议,需要未来的进一步研究来提供证据^[4]。或许还可以将传统的仿头模教学与虚拟仿真系统结合作为一种新的互补教学方式^[18]。Plessas^[19]也曾提及没有足够的证据可以支持或反对虚拟仿真系统取代现有的



图5 安麻施麻醉虚拟仿真系统界面 A:接诊界面;B:麻醉界面;C:讲解页面;D:评分界面

传统教学方法,如课堂讲解和仿头模教学,而将虚拟仿真系统与传统教学相结合,营造多样化的教学环境可以加深学生对于知识的理解。

综上所述,虚拟仿真系统具有准确性高、模拟情景效果好、提高学生学习兴趣的优点,应用于口腔局部麻醉教学可以提高学生的实战操作能力,是一种值得推广的教学模式。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Lin Y, Wang X, Wu F, et al. Development and validation of a surgical training simulator with haptic feedback for learning bone-sawing skill [J]. *J Biomed Inform*, 2014, 48: 122-129. DOI: 10.1016/j.jbi.2013.12.010.
- [2] 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.
- [3] Huang TK, Yang CH, Hsieh YH, et al. Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) applied in dentistry [J]. *Kaohsiung J Med Sci*, 2018, 34(4): 243-248. DOI: 10.1016/j.kjms.2018.01.009.
- [4] Murbay S, Neelakantan P, Chang JWW, et al. Evaluation of the introduction of a dental virtual simulator on the performance of undergraduate dental students in the pre-clinical operative dentistry course [J]. *Eur J Dent Educ*, 2020, 24(1):5-16. DOI: 10.1111/eje.12453.
- [5] Chen X, Sun P, Liao D. A patient-specific haptic drilling simulator based on virtual reality for dental implant surgery [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2018, 13(11): 1861-1870. DOI:10.1007/s11548-018-1845-0.
- [6] Kary AL, Gomez J, Raffaelli SD, et al. Preclinical Local Anesthesia Education in Dental Schools: A Systematic Review [J]. *J Dent Educ*, 2018, 82(10): 1059-1064. DOI: 10.21815/JDE.018.106.
- [7] DeLuke DM, Cannon D, Carrico C, et al. Is Maximal Dosage for Local Anesthetics Taught Consistently Across U.S. Dental Schools? A National Survey [J]. *J Dent Educ*, 2018, 82(6):621-624. DOI:10.21815/JDE.018.071.
- [8] Martinez RN, Barona DC, Martin AM, et al. Evaluation of the anaesthetic properties and tolerance of 1: 100, 000 articaine versus 1: 100, 000 lidocaine. A comparative study in surgery of the lower third molar [J]. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2012, 17(2):e345-e351. DOI: 10.4317/medoral.17414.
- [9] Kammerer PW, Schneider D, Palarie V, et al. Comparison of anesthetic efficacy of 2 and 4% articaine in inferior alveolar nerve block for tooth extraction—a double-blinded randomized clinical trial [J]. *Clin Oral Invest*, 2017, 21(1):397-403. DOI:10.1007/s00784-016-1804-5.
- [10] 张志愿. 口腔颌面外科学 [M]. 北京:人民卫生出版社, 2012: 89.
- [11] Meckfessel S, Stühmer C, Bormann KH, et al. Introduction of e-learning in dental radiology reveals significantly improved results in final examination [J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2011, 39(1): 40-48. DOI:10.1016/j.jcms.2010.03.008.
- [12] Suebnukarn S, Haddawy P, Rhienmora P, et al. Augmented kinematic feedback from haptic virtual reality for dental skill acquisition [J]. *J Dent Educ*, 2010, 74(12): 1357-1366. DOI: 10.1016/j.jcms.2010.02.003.
- [13] Buchanan JA. Experience with virtual reality-based technology in teaching restorative dental procedures [J]. *J Dent Educ*, 2004, 68(12):1258-1265. PMID:15576814.
- [14] Cederberg RA, Bentley DA, Halpin R, et al. Use of virtual patients in dental education: a survey of U.S. and Canadian dental schools [J]. *J Dent Educ*, 2012, 76(10): 1358-1364. DOI: 10.1111/j.1524-4725.2012.02539.x.
- [15] Rothhoff T, Schneider M, Ritz-Timme S, et al. Theory in practice instead of theory versus practice - curricular design for task-based learning within a competency oriented curriculum [J]. *GMS Z Med Ausbild*, 2015, 32(1): Doc4. DOI: 10.3205/zma000946.
- [16] Metz MJ, Durski MT, O'Malley DeGaris M, et al. Student Self-Assessment of Operative Dentistry Experiences: A Time-Dependent Exercise in Self-Directed Learning [J]. *J Dent Educ*, 2017, 81(5):571-581. DOI:10.21815/JDE.016.020.
- [17] Roy E, Bakr MM, George R. The need for virtual reality simulators in dental education: A review [J]. *Saudi Dent J*, 2017, 29(2):41-47. DOI:10.1016/j.sdentj.2017.02.001.
- [18] Quinn F, Keogh P, McDonald A, et al. A study comparing the effectiveness of conventional training and virtual reality simulation in the skills acquisition of junior dental students [J]. *Eur J Dent Educ*, 2003, 7(4): 164-169. DOI: 10.1034/j.1600-0579.2003.00309.x.
- [19] Plessas A. Computerized virtual reality simulation in preclinical dentistry: can a computerized simulator replace the conventional phantom heads and human instruction? [J]. *Simul Healthc*, 2017, 12(5):332-338. DOI:10.1097/SIH.0000000000000250.

(收稿日期:2019-09-11)

(本文编辑:王嫚)