·教学改革·

数字化扫描结合逆向工程技术在全冠牙体预备教学中的应用评价

黎创[1]　赵晓敏[2]　邹波[2]　辛蔚妮[2]

[1]汕头大学公共卫生学院，汕头　515000；[2]汕头大学医学口腔门诊部·口腔医学系，汕头　515000

通信作者：辛蔚妮，Email：wnxin@stu.edu.cn

【摘要】 目的　探讨数字化扫描结合逆向工程技术在全冠修复体牙体预备教学中的应用。**方法**　采取随机数字表将30名汕头大学医学院口腔医学专业本科五年级学生随机分为两组，两组学生均发放树脂牙两颗，并安装在仿真头模上进行全冠牙体预备。对照组采用经验类比示教法，试验组为采用数字化扫描示教法，即第一次全冠牙体预备完成后进行数字化扫描后进行第二次全冠牙体预备。评分采用《中华口腔医学会团体标准：全瓷冠牙体预备操作规范T/CHSA 008—2023》进行评判，总分为100分。应用SAS 9.4软件对数据进行两独立样本 t 检验、配对 t 检验，评分者的一致性采用Kendall W协调系数检验。**结果**　右上颌中切牙（$76.27_{\text{示教前}}$ vs. $84.70_{\text{示教后}}$，$P<0.001$）及右上颌第一磨牙（$72.10_{\text{示教前}}$ vs. $82.37_{\text{示教后}}$，$P<0.001$）示教前后预备体评分的差异有统计学意义。②试验组相对于对照组，右上颌第一磨牙预备体平均提升得分差异有统计学意义（$14.00_{\text{试验组}}$ vs. $6.53_{\text{对照组}}$，$t=2.64$，$P=0.014$）。③对于试验组，右上颌第一磨牙牙面𬌗面（$15.40_{\text{示教前}}$ vs. $19.33_{\text{示教后}}$，$P<0.001$）、颊舌面（$18.13_{\text{示教前}}$ vs. $20.87_{\text{示教后}}$，$P=0.016$）以及邻面（$12.40_{\text{示教前}}$ vs. $14.07_{\text{示教后}}$，$P=0.004$）的分数提升均有统计学意义，颊舌面聚合度（$2.80_{\text{示教前}}$ vs. $4.07_{\text{示教后}}$，$P=0.004$）和邻面（$3.47_{\text{示教前}}$ vs. $4.47_{\text{示教后}}$，$P=0.008$）聚合度在示教后的分数提升均有统计学意义。**结论**　数字化示教应用于难度较高的后牙牙体预备教学可有效提高学生牙体预备质量，规范牙体预备教学流程，提升牙体预备精度，为口腔医学修复人才培养的同质化奠定基础。

【关键词】 全冠牙体预备；　数字化示教；　逆向工程技术；　口腔修复学；　口内扫描仪

【中图分类号】 R-05

基金项目：2021年省级质量工程项目口腔医学实验教学示范中心（002-181233120）；2019年度广东省科技专项资金“医学教育人才培养及临床技术提升计划”（2019113134）

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20230322-01601

Application of digital scanning combined with reverse engineering technology in the teaching of full crown preparation

Li Chuang[1], Zhao Xiaomin[2], Zou Bo[2], Xin Weini[2]

[1]School of Public Health, Shantou University, Shantou 515000, China; [2]Clinic of Stomatology, Department of Stomatology, Shantou University Medical College, Shantou 515000, China

Corresponding author: Xin Weini, Email: wnxin@stu.edu.cn

【Abstract】 Objective　To investigate the application of digital scanning combined with reverse engineering technology in the teaching of full crown preparation. **Methods**　A total of 30 undergraduate students in the fifth grade of stomatology were selected from Shantou University Medical College and were divided into experimental group and control group using a random number table. Two resin teeth were distributed to each student and were placed on dental head simulators to perform full crown preparation. The students in the control group received teaching with analogies of experience, and those in the experimental group received teaching with digital scanning, i.e., full crown preparation for the second time after digital scanning for the first time of full crown preparation. The score was determined based on China Stomatological Association Standards: Guideline for the tooth preparation of dental ceramic crowns (T/CHSA 008—2023), with a total score of 100 points. SAS9.4 software was used for the two-independent-samples t test and the

paired *t*-test, and the Kendall W concordance coefficient was used to investigate the consistency of evaluators. **Results** There were significant changes after teaching in the preparation scores of the right maxillary central incisor ($76.27_{\text{pre-demonstration}}$ vs. $84.70_{\text{post-demonstration}}$, $P<0.001$) and the right maxillary first molar ($72.10_{\text{pre-demonstration}}$ vs. $82.37_{\text{post-demonstration}}$, $P<0.001$). Compared with the control group, the experimental group had a significant increase in the mean preparation score of the right maxillary first molar (14.00 vs. 6.53, $t=2.64$, $P=0.014$). In the experimental group, there were significant increases in the preparation scores of the right maxillary first molar for the occlusal surface ($15.40_{\text{pre-demonstration}}$ vs. $19.33_{\text{post-demonstration}}$, $P<0.001$), the buccolingual surface ($18.13_{\text{pre-demonstration}}$ vs. $20.87_{\text{post-demonstration}}$, $P=0.016$), and the proximal surface ($12.40_{\text{pre-demonstration}}$ vs. $14.07_{\text{post-demonstration}}$, $P=0.004$), as well as significant increases in the scores of the convergence angles of the buccolingual surface ($2.80_{\text{pre-demonstration}}$ vs. $4.07_{\text{post-demonstration}}$, $P=0.004$) and the proximal surface ($3.47_{\text{pre-demonstration}}$ vs. $4.47_{\text{post-demonstration}}$, $P=0.008$). **Conclusions** Application of digital teaching for difficult crown preparation of posterior teeth can effectively improve the quality of crown preparation among students, standardize the teaching process of crown preparation, and increase the precision of crown preparation, thereby laying a foundation for promoting uniformity in talent cultivation for dental prosthodontics.

【Key words】 Full crown preparation; Digital demonstration; Reverse engineering technology; Prosthodontics; Intraoral scanner

Fund program: The 2021 Provincial Quality Engineering Project of Dentistry Experimental Teaching Demonstration Centre (002-181233120); The 2019 Guangdong Science and Technology Special Fund of "Medical Education Talent Training and Clinical Technology Improvement Plan" (2019113134)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20230322-01601

牙体预备是通过磨除部分牙体组织，为各种修复体提供容纳空间、粘接面与完成线等[1]，是一项复杂三维磨削运动[2]，按照《口腔修复学》教材推荐的预备量，要求操作者能够在尽可能保存牙体组织的基础上，由裸眼引导的徒手操作达到各牙面的预备精度要求，如𬌗面预备要求在0.8～1.5 mm精度，颊舌轴面的𬌗向聚合度一般为2°~5°等[3]，这对本科教学提出了很高的要求。目前在口腔临床中传统示教方法有三种[4]，一是经验类比目测引导下的牙体预备，即牙体表面制备定深沟示教预备的方法，二是应用金刚砂车针进行牙体预备，三是在以硅胶制作的导板引导的牙体预备。这三类示教方法大都依据个人经验和目测的方式评估牙体预备的质量，易产生视觉误差，而且由于教学者的经验不尽相同，对于牙体预备精度可能会出现判断偏差。

口内扫描仪目前广泛用于口腔修复[5]，该类设备能够直接从患者口腔或从口腔树脂模型获得三维数字影像，以标准镶嵌语言（standard tessellation language，STL）格式提供牙列初始状态的虚拟文件[6]，STL文件通过转换后在三维测量数据应用软件中可以进行分析。GOM Inspect Pro软件隶属于逆向工程技术软件的一种，其在曲面的监测分析、曲面的截面分析以及几何公差的检测等方面都能准确地测量[7]，软件基于参数化检测原理进行运作，主要用于从第三方来源的输入测量数据。例如常见的有三维扫描仪、激光扫描仪、电子计算机断层扫描、坐标测量机等在口腔修复体的设计以及口腔正畸方面均有应用，但应用在口腔修复体教学方面却较为鲜有。

本研究选择口腔医学系大五学生作为研究对象，旨在探究口内扫描仪结合三维测量数据的应用软件 GOM Inspect Pro 的数字化教学是否能在口腔教学中提升学生的对全冠牙体预备的空间数值及精度要求的认识，并定量评估学生牙体预备量，使学生明确牙体预备时数值要求与数量关系转移，从而提高牙体预备的教学质量，规范牙体预备教学流程，提升牙体预备精度 。

1 对象与方法

1.1 材料与设备

实验室为汕头大学医学院口腔虚拟仿真实验室，实验室具备口内扫描仪系统（TRIOS，3Shape，丹麦），标准树脂牙右上颌中切牙和右上颌第一磨牙各60颗（A5A_200，日进，中国），口腔教学模拟实习系统（Adec，美国）、口腔教学用快机（NSK，日本）及金刚砂牙备车针（TR_11，FO_25，TR_13，TR_13F，TR _13EF，马尼，日本），同时配备一台计算机，计算机预装三维数据分析软件（Zeiss，GOM Inspect Pro，2022，德国）。

1.2 教学对象及方法

1.2.1 教学对象

教学对象选取30名汕头大学医学院口腔医学

系本科五年级学生，采取随机数字表将学生随机分为对照组和试验组。在实验开始前进行《口腔修复学》考试，以及应用Simodont仿真系统对学生固定修复全冠预备培训进行规范化培训。

两组各15名学生，发放右上颌中切牙以及右上颌第一磨牙树脂牙体各两颗，要求学生在口腔教学模拟实习系统上进行全冠牙体预备，第一次进行全冠牙体预备后进行打分，对照组采用经验类比目测引导下的牙体预备方法进行示教，试验组采用口内扫描仪系统扫描预备好的预备体，结合三维数据分析软件进行分析及示教，两组再同时进行第二次牙体预备，对第二次的树脂全冠预备体进行评分。

1.2.2　评分方法

对于全冠牙体预备后的树脂牙预备体采用《中华口腔医学会团体标准：全瓷冠牙体预备操作规范 T/CHSA 008—2023》进行评分，评分标准见表1，上颌第一磨牙分为7个方面进行评分，上颌中切牙分为6个方面进行评分，满分均为100。口内扫描仪扫描预备后的树脂模型应用三维数据分析软件打开如图1所示，软件的右侧为颜色图例，对应的颜色为该牙体某处切削的毫米（mm），其中靠近左边的牙齿为右上颌第一磨牙，右边的为右上颌中切牙。

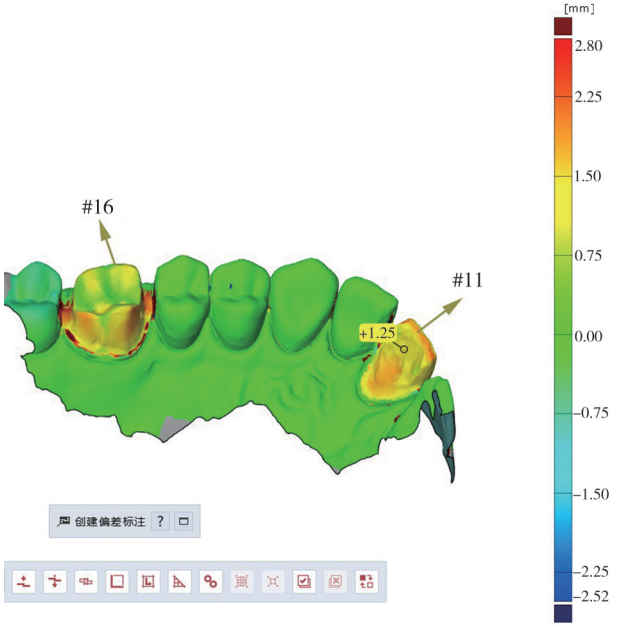


图1　ZEISS GOM inspect软件打开3shape口扫描仪扫描模型

1.3　统计学方法

应用SAS 9.4软件对数据进行统计分析，计量资料采用（均数 ± 标准差）表示，所有统计分析在事前均通过正态分布检验或是正态分布图的观测，以牙为单位组间比较采用两独立样本 t 检验，组内比较采用配对 t 检验进行统计分析，以牙面为单位每颗牙的各牙面和聚合度分析采用配对 t 检验进行统计分析。各组性别差异采用卡方检验。评分者的一致性采用 Kendall W 协调系数检验。检验水准 α=0.05。

表1　全瓷冠牙体预备操作规范评分标准

预备牙位	评分内容	评分标准	分值
上颌中切牙	整体	各线角光滑，圆钝	10
	切缘	均匀磨除1.5~2.0 mm	10
		切缘形成与牙长轴约45°向腭侧的小斜面	10
	唇面	预备量1.0~1.2 mm	10
		均匀无倒凹	5
		聚合度适合（5~6°的内聚角）	5
	舌面	预备量1.0 mm	10
		舌隆突与轴面形成适合的聚合度（5~6°的内聚角）	5
	邻面	均匀无倒凹	5
		聚合度适合（5~6°的内聚角）	5
	边缘	形成平齐龈缘，宽1.0 mm的90°圆钝内角肩台或135°浅凹型肩台	10
		颈部边缘光滑连续	5
	邻牙	近中邻牙无损伤	5
		远中邻牙无损伤	5
上颌第一磨牙	整体	各线角光滑，圆钝	10
	𬌗面	𬌗面均匀磨除1.5~2.0 mm	10
		保持𬌗面形态	10
		形成功能尖斜面	5
	颊舌面	预备量1.0~1.5 mm	10
		均匀无倒凹	10
		聚合度适合（5~6°的内聚角）	5
	邻面	均匀无倒凹	10
		聚合度适合（5~6°的内聚角）	5
	边缘	形成平齐龈缘，宽1.0 mm的90°圆钝内角肩台或135°浅凹型肩台	10
		颈部边缘光滑连续	5
	邻牙	近中邻牙无损伤	5
		远中邻牙无损伤	5

2　结果

2.1　示教前后全冠预备体精度分析

对照组和试验组学生的性别比差异没有统计学意义（χ^2=0.60，P=0.439），Kendall W协调系数表明两位评估者在同一份预备体的评分是一致的（r=0.798，P<0.001），将示教前后的牙体预备进行分析（表2），右上颌中切牙（P<0.001）以及右上颌第一磨牙（P<0.001）示教前较示教后评分的差异有统计学

意义，右上颌中切牙在示教后平均提升了8.43分，而右上颌第一磨牙在示教后平均提升了10.27分。

表2　示教前后预备体评分比较[n=30，($\bar{x} \pm s$)，分]

预备牙位	示教前	示教后	t值	P值
右上颌中切牙	76.27 ± 6.99	84.70 ± 6.16	7.98	<0.001
右上颌第一磨牙	72.10 ± 8.25	82.37 ± 6.96	6.61	<0.001

2.2　右上颌中切牙示教前后牙体预备质量分析

对右上颌中切牙示教前后的牙体预备进行分析（表3），对照组与试验组示教前较示教后评分的差异均有统计学意义，但两组差值并无统计学意义（P=0.601）。

牙面分析表明（表4），对照组中唇面（P=0.024）以及舌面（P<0.001）在示教后其评分提升有统计学意义，试验组中切缘（P=0.006）、唇面（P=0.045）以及舌面（P=0.001）在示教后其评分提升差异有统计学意义，试验组相对于对照组在示教后切缘的评分提升较为明显。

除了精度的探究，本研究还设计了聚合度的分析，结果表明在对照组中唇面聚合度在示教后评分提升有统计学意义（P=0.010），而试验组中其唇面和邻面在示教后其提升并不明显。

2.3　右上颌第一磨牙示教前后牙体预备质量分析

右上颌第一磨牙示教前后的牙体预备评分结果表明，对照组与试验组示教前较示教后评分的差异均有统计学意义（P<0.05）。两组得分差值进行独立样本 t 检验可以看出，两组平均提升得分差异有统计学意义（P=0.014）。

两牙面分析表明，对照组中在示教后的评分提升均无统计学意义，试验组中𬌗面、颊舌面以及邻

表3　示教前后预备体评分比较 较[n=30，($\bar{x} \pm s$)，分]

预备牙位	组别	示教前	示教后	t值[a]	P值[a]	差值	t值[b]	P值[b]
右上颌中切牙	对照组	77.07 ± 7.15	86.07 ± 5.18	5.29	<0.001	9.00 ± 6.59	0.53	0.601
	试验组	75.47 ± 6.98	83.33 ± 6.91	6.06	<0.001	7.87 ± 5.03		
右上颌第一磨牙	对照组	77.00 ± 7.02	83.53 ± 5.97	3.87	0.002	6.53 ± 6.53	2.64	0.014
	试验组	67.20 ± 6.34	81.20 ± 7.86	6.16	<0.001	14.00 ± 8.81		

注：a，P值基于组内配对样本 t 检验；b，P值基于差值的组间两独立样本 t 检验。

表4　各牙面全冠预备体前后及聚合度评分比较[n=30，($\bar{x} \pm s$)，分]

预备牙位	组别	牙面/聚合度	示教前	示教后	t值	P值
右上颌中切牙	对照组	切缘	22.27 ± 5.30	25.60 ± 1.76	1.63	0.125
		唇面	7.80 ± 2.60	9.40 ± 1.45	2.54	0.024
		聚合度：唇面	3.80 ± 1.37	4.80 ± 0.77	2.96	0.010
		舌面	10.47 ± 1.85	12.73 ± 1.62	4.60	<0.001
		邻面	8.87 ± 1.19	9.60 ± 0.83	1.91	0.077
		聚合度：邻面	4.20 ± 1.08	4.60 ± 0.83	1.19	0.253
	试验组	切缘	22.60 ± 2.80	24.80 ± 2.81	3.21	0.006
		唇面	8.87 ± 1.19	9.47 ± 0.99	2.20	0.045
		聚合度：唇面	4.07 ± 1.03	4.53 ± 0.92	1.82	0.089
		舌面	9.47 ± 2.53	11.73 ± 2.22	4.08	0.001
		邻面	8.27 ± 1.39	9.00 ± 1.65	1.46	0.166
		聚合度：邻面	3.60 ± 1.24	4.27 ± 1.10	1.50	0.155
右上颌第一磨牙	对照组	𬌗面	18.13 ± 3.89	20.00 ± 2.27	1.93	0.074
		颊舌面	21.07 ± 4.01	21.93 ± 2.58	0.82	0.427
		聚合度：颊舌面	3.73 ± 1.28	4.60 ± 0.83	2.23	0.043
		邻面	13.73 ± 1.33	14.07 ± 2.28	0.48	0.642
		聚合度：邻面	4.00 ± 1.13	4.60 ± 0.91	1.55	0.144
	试验组	𬌗面	15.40 ± 1.59	19.33 ± 3.06	4.67	<0.001
		颊舌面	18.13 ± 3.00	20.87 ± 2.45	2.73	0.016
		聚合度：颊舌面	2.80 ± 1.47	4.07 ± 1.22	3.41	0.004
		邻面	12.40 ± 1.68	14.07 ± 1.49	3.51	0.004
		聚合度：邻面	3.47 ± 1.46	4.47 ± 0.92	3.09	0.008

面在示教后其评分提升差异有统计学意义，试验组相对于对照组在示教后𬌗面、颊舌面以及邻面的评分提升较为明显。

对于聚合度的分析结果表明，在对照组中颊舌面示教后评分提升有统计学意义（P=0.043），而试验组中其颊舌面和邻面在示教后评分提升均有统计学意义。

3　讨论

3.1　经验类比示教与数字化技术引导示教的牙体预备精度分析

经验类比目测引导下的牙体预备简便易行，实用性强，但因其仅凭医生的目测判断和临床经验确定磨除，很容易出现预备过度或不足的情况[8]，是一种预备精度低的牙体预备方法。采用这类方法进行示教，学生对预备的数值要求和预备方向均无法明确。以诊断蜡型基础制作的导板引导的牙体预备引导方式使用最终修复体形态作为参考，不再只依赖术者的个体经验，相比经验类比引导方式更加准确。但硅橡胶指示导板其预备量的控制仅为硅橡胶导板切割面，无法覆盖全部预备面，整体上看仍不精确[9]。

没有基于数字化技术的教学，缺乏对牙体预备量的分析和缺乏预备后告知学生牙体硬组织发生精确的数量变化，导致理论与实践脱节，学生学习曲线呈现不规则的上升/下降趋势[10]，学生由于在口腔内没有参照物而对量和形均无法很好地掌握，最终导致修复体无法准确实现应有的目标修复体效果。

通过采用口内扫描仪系统扫描预备好的全冠预备体，结合三维测量数据应用软件进行分析及数字化技术引导示教，试验组学生第二次练习时右上颌中切牙切缘、唇面以及舌面均有提升，右上颌第一磨牙𬌗面、颊舌面以及邻面均有提升，表明数字化评价结果的反馈有利于提高学生的表现[11]。而右上颌中切牙中邻面没有明显的进步，可能由于该项指标的学习曲线上升缓慢，表明对于要提高学生的牙体预备操作水平还需要更多的专项练习。

3.2　示教前与示教后的牙体预备精度分析

本研究中的对象均来自同一个班级的学生，年龄较为均衡，且在研究开始前进行了统一的示教培训以及考核，研究对象牙体预备技能具备同质性，两位独立的评分者在进行试验之前进行了独立评分，结果表明牙体预备的评分不受评分者的主观影响。右上颌中切牙和右上颌第一磨牙示教前较示教后评分均提升，表明无论采用经验类比方法示教或数字化技术引导示教法均能有效提升学生对牙体预备技能的掌握，这与李俊满等的研究[12]的结果是一致的。逆向工程技术与全冠牙体预备结合，可将精密扫描后的修复体进行三维实体模型的建立及设计[13]，但目前在口腔教学方面却少有逆向工程技术的应用。有研究表明逆向工程技术教学相对于传统教学方式能使学生在学习上更富有目的性以及主动性，更加符合应用型人才培养的特点[14]。

3.3　右上颌中切牙示教前后牙体预备精度分析

右上颌中切牙示教前后牙体预备精度分析，两组的平均提升得分并无差异，可能由于中切牙位于口腔最前部[15]，在牙体预备的操作过程中其肉眼直视范围较第一磨牙多[16]，对于初学者或临床经验较少的医学生来说操作难度相对较小，牙体预备难度较低，提升不明显。

试验组相对于对照组其切缘在示教后的评分提升较为明显，中切牙切缘部位定深比较明确，备牙时视线较好[17]，外加之口内扫描仪精确化示教[18]，学生对牙体预备量明确，故试验组中切牙切缘部位较对照组提升较为明显。此外，在聚合度分析中，对照组和试验组的邻面在示教后其提升均不明显，由于在临床上进行邻面的预备时会注意保护邻牙[19]，导致邻面的预备量不足，造成在示教前后其聚合度的提升均不明显。

本研究中两组学生对右上颌中切牙进行初次预备（示教前）的评分结果差异较小，表明右上颌中切牙的牙体预备难度普遍适中，经示教后再次牙体预备的质量显著提高，但三维数字化示教无明显优势，在后续的研究中需要扩大样本量[20]。

3.4　右上颌第一磨牙示教前后牙体预备精度分析

右上颌第一磨牙示教前后牙体预备精度分析，试验组在示教后的提升分数相较于对照组的提升分数两倍左右，表明在使用数字化技术示教后能提升学生的牙体预备精度，该结论与陈亮等的研究[21]一致。第一磨牙位于口腔内部较后方，在牙体预备的操作过程中其肉眼直视范围较小[22]，常需要借助其他器械的辅助进行牙体预备，难度较初学者较难掌控。

牙面分析显示，试验组的𬌗面、颊舌面以及邻面三个面均在示教后的评分提升较为明显，这表明应用数字化技术示教后能较为明显提升后牙全冠牙体预备精度[23]。此外，在聚合度分析中，试验组的颊舌面和邻面在示教后提升较为明显，综上可知，在示教后其后牙全冠牙体预备的精度以及聚合度

均能得到较大的提升。

由于右上颌第一磨牙的操作相较于右上颌中切牙较为复杂[24],其直视范围也较小,第一磨牙位于口腔深部,在操作过程中需更多借助口镜的辅助,通过镜面反射观察,其相对于中切牙操作难度及牙体预备难度大,经过示教后进行牙体预备学生对预备量明确,故在研究中试验组和对照组得分的差距增大,经口扫描仪示教后再次牙体预备的质量显著提高。

4　结语

口内扫描仪结合三维测量数据的应用软件的数字化教学可以在口腔修复教学中提升学生的对全冠牙体预备的空间数值及精度要求的认识,通过定量评估学生牙体预备量,使学生明确牙体预备时数值要求与数量关系转移,从而提高牙体预备的教学质量,规范牙体预备教学流程,提升牙体预备精度,为口腔医学修复人才培养的同质化奠定基础。此外本研究存在部分局限性,由于试验的样本量较小以及且仅纳入单个年级组等都可能会影响实验结果,因此还有待于进一步深入的研究,增加样本量以及样本的代表性,探寻更有代表性的结果。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　黎创:分析数据、撰写论文、数据采集、实验设计;赵晓敏:数据采集;邹波:数据采集、审订论文;辛蔚妮:提出论文构思、撰写论文、总体把关、审订论文、实验设计

参考文献

[1] 于海洋, 赵雨薇, 李俊颖, 等. 基于牙体牙髓、牙周及功能健康的显微微创牙体预备[J]. 华西口腔医学杂志, 2019, 37(3): 229-235.

[2] 李忠义, 白鹤飞, 王勇, 等. 牙体预备定量引导技术的研究现状[J]. 中华口腔医学杂志, 2018, 53(2): 137-140. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2018.02.016

[3] 赵铱民. 口腔修复学[M]. 8版. 北京: 人民卫生出版社, 2020.

[4] 刘春煦, 高静, 赵雨薇, 等. 一种3D打印定深孔导板引导的精准牙体预备技术[J]. 华西口腔医学杂志, 2020, 38(3): 350-355. DOI: 10.7518/hxkq.2020.03.022.

[5] Chiu A, Chen YW, Hayashi J, et al. Accuracy of CAD/CAM digital impressions with different intraoral scanner parameters [J]. Sensors (Basel), 2020, 20(4): E1157. DOI: 10.3390/s20041157.

[6] Lee H, Fehmer V, Kwon KR, et al. Virtual diagnostics and guided tooth preparation for the minimally invasive rehabilitation of a patient with extensive tooth wear: a validation of a digital workflow [J]. J Prosthet Dent, 2020, 123(1): 20-26. DOI: 10.1016/j.prosdent.2018.11.023.

[7] 陈泽群. 基于GOM Inspect环境的复杂曲面零件的三维检测[J]. 技术与市场, 2021, 28(5): 80-82. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8554.2021.05.028.

[8] Yu H, Zhao Y, Li J, et al. Minimal invasive microscopic tooth preparation in esthetic restoration: a specialist consensus [J]. Int J Oral Sci, 2019, 11(3): 31. DOI: 10.1038/s41368-019-0057-y.

[9] 于海洋. 关于牙体预备里的数字追问: 从目测经验类比到数字引导[J]. 华西口腔医学杂志, 2021, 39(1): 9-19. DOI: 10.7518/hxkq.2021.01.002.

[10] 刘星纲, 刘利霞, 魏永杰. 浅析研究生修复实习中牙体预备的学习曲线 [J]. 北京口腔医学, 2018, 26(4): 236-237.

[11] 邱燕, 吴小红, 陈晒媛. 数字化技术在口腔修复学教学中的应用研究 [J]. 现代医药卫生, 2022, 38(9): 1596-1598. DOI: 10.3969/j.issn.1009-5519.2022.09.044.

[12] 李俊满. 牙体预备数字化评估体系构建与应用的初步研究 [D]. 昆明医科大学, 2020.

[13] 夏媛. 基于逆向工程研究不同牙体预备形态对全冠三维适合性的影响 [D]. 重庆: 重庆医科大学, 2015.

[14] 张琳琳, 沈凌, 朱明. 医学院校开展“逆向工程与3D打印技术”项目化教学探讨 [J]. 教育教学论坛, 2019(12): 239-240.

[15] 陈涛, 马晓威, 姚琴, 等. 儿童和青少年上颌前牙区埋伏多生牙对邻近中切牙发育萌出影响的CBCT影像学分析[J]. 口腔医学研究, 2023, 39(6): 500-504. DOI: 10.13701/j.cnki.kqyxyj.2023.06.007.

[16] 边媛媛, 厉松. 邻面牙釉质厚度及相关规律的研究进展 [J]. 北京口腔医学, 2017, 25(3): 178-180.

[17] 沈燕青, 胡赛, 孔卓玲, 等. 中切牙金属烤瓷冠牙体预备的探索性实验 [J]. 浙江医学教育, 2015, 14(6): 17-20.

[18] 张玲, 金鑫阳, 许月丹, 等. 数字化引导的上中切牙全瓷冠牙体预备[J]. 浙江医学教育, 2021, 20(2): 20-22. DOI: 10.3969/j.issn.1672-0024.2021.02.007.

[19] 李媛媛, 李忠, 李坤. 不良修复体在牙周病患者中的应用及对牙龈癌发生的影响研究 [J]. 实用癌症杂志, 2019, 34(1): 165-167. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5930.2019.01.047.

[20] Hung M, Bounsanga J, Voss MW. Interpretation of correlations in clinical research [J]. Postgrad Med, 2017, 129(8): 902-906. DOI: 10.1080/00325481.2017.1383820.

[21] 陈亮, 张心怡, 邢桢权, 等. 数字化牙体预备引导技术的精度研究 [J]. 口腔医学研究, 2023, 39(5): 450-454. DOI: 10.13701/j.cnki.kqyxyj.2023.05.014.

[22] 张淑美. 上颌前牙全瓷冠修复牙体预备临床前培训效果的数字化评价 [D]. 福州: 福建医科大学, 2016.

[23] Lugassy D, Levanon Y, Rosen G, et al. Does Augmented Visual Feedback from Novel, Multicolored, Three-Dimensional-Printed Teeth Affect Dental Students' Acquisition of Manual Skills [J]. Anat Sci Educ. 2021,14(5): 629-640. DOI: 10.1002/ase.2014.

[24] Xu X, Xie Q, Zhou Y, et al. Effect of a standardized training with digital evaluation on the improvement of prosthodontic faculty's performance in crown preparation: a pre-post design [J]. J Prosthodont, 2020, 29(9): 766-771. DOI: 10.1111/jopr.13222.

（收稿日期:2023-03-22）
（本文编辑:唐宗顺）