



安徽医科大学学报

Acta Universitatis Medicinalis Anhui

ISSN 1000-1492, CN 34-1065/R

《安徽医科大学学报》网络首发论文

题目：不同表面处理方式对二硅酸锂玻璃陶瓷抗染色能力影响的实验研究
作者：姬智博，李筱文，许新怡，宋国轶，马坤，孙磊
网络首发日期：2025-08-28
引用格式：姬智博，李筱文，许新怡，宋国轶，马坤，孙磊. 不同表面处理方式对二硅酸锂玻璃陶瓷抗染色能力影响的实验研究[J/OL]. 安徽医科大学学报.
<https://link.cnki.net/urlid/34.1065.R.20250827.1636.023>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

不同表面处理方式对二硅酸锂玻璃陶瓷抗染色能力影响的实验研究

姬智博¹, 李筱文¹, 许新怡¹, 宋国轶², 马 坤³, 孙 磊^{1,4}

(¹ 安徽医科大学第二附属医院口腔科, 合肥 230601; ² 爱尔创合作研究中心, 辽宁爱尔创生物材料有限公司, 沈阳 110000; ³ 中国科学院合肥物质研究院强磁场科学中心, 合肥 230031; ⁴ 安徽医科大学口腔医学院, 安徽医科大学附属口腔医院, 口腔疾病研究安徽省重点实验室, 合肥 230032)

摘要 **目的** 评价不同表面处理方法和模拟老化对二硅酸锂玻璃陶瓷(LDC)的粗糙度、显微硬度和颜色稳定性的影响。**方法** 将 LDC 分为 5 组并进行不同表面处理: 对照组、抛光组、抛光+抛光膏组、上釉组、抛光+上釉组。测量试件粗糙度、显微硬度。然后将试件分成两个亚组, 分别用水和染色液体进行处理。处理前后测量颜色参数。对上述数据进行分析。**结果** 与对照组相比, 不同表面处理后的 LDC, 其表面粗糙度、显微硬度改变, 抛光+抛光膏抛光组具有最低的表面粗糙度, 上釉后 LDC 表面显微硬度降低, 模拟老化后, 抛光+抛光膏组、上釉组和抛光+上釉组色差值最小, 透明度变化最小。**结论** 不同表面处理和模拟老化对 LDC 的粗糙度、显微硬度、颜色稳定性均有一定影响, 使用含抛光膏的精细抛光对于 LDC 的抗染色效果接近上釉。

关键词 修复体; 表面处理; 二硅酸锂; 玻璃陶瓷; 抗染色; 颜色稳定性

中图分类号 R 783.1

文献标志码 A

Experimental study on the effect of different surface treatment methods on the anti staining ability of lithium disilicate glass ceramics

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 31900927); 安徽省转化医学研究院科研基金项目(编号: 2021zhyx-C44)

作者简介: 姬智博, 男, 硕士研究生;

孙 磊, 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 通信作者, E-mail: sunlei@ahmu.edu.cn

Ji Zhibo¹, Li Xiaowen¹, Xu Xinyi¹, Song Guoyi², Ma Kun³, Sun Lei^{1,4}

(¹ Dept. of Stomatology, Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230601;

² UPCERA Collaborative Research Center, Liaoning Upcera Co., Ltd., Shenyang 110000; ³ High

Magnetic Field Laboratory, Hefei Institutes of Physical Science, Chinese Academy of Sciences,

Hefei 230031; ⁴College & Hospital of Stomatology, Anhui Medical University, Key Lab. of Oral

Diseases Research of Anhui Province, Hefei 230032)

Abstract **Objective** To evaluate the effects of different surface treatment methods and simulated aging on the roughness, microhardness, and color stability of lithium disilicate glass ceramics(LDC). **Methods** The LDC were grouped and performed 5 kinds of surface treatments:control group, polishing group, polishing + polishing paste group, glazing group, polishing + glazing group. The roughness and microhardness of the specimen were measured. Then the specimens were divided into two subgroupswhich were treated with water and staining solution. The specimens were measured color parameters before and after processing. The above data was analyzed. **Results** The LDC had changes in surface roughness and microhardness after different surface treatments. The polishing + polishing paste group had the lowest surface roughness, and the surface microhardness of the LDC decreased after glazing. After simulating aging, the difference of color and transparency of the polishing + polishing paste group, glazing group, and polishing + glazing group were the smallest. **Conclusion** Different surface treatments and simulated aging have a certain impact on the roughness, microhardness, and color stability of LDC. Fine polishing with polishing paste has a comparable anti staining effect to glazing on LDC.

Key words prosthesis; surface treatment; lithium disilicate; glass ceramics; anti staining; color stability

Fund programs National Natural Science Foundation of China (No. 31900927); Research Project of Anhui Provincial Institute of Translational medicine (No. 2021zhyx-C44)

Corresponding author Sun Lei, E-mail: sunlei@ahmu.edu.cn

二硅酸锂玻璃陶瓷 (lithium disilicate glass ceramics, LDC) 是目前最常用的牙科陶瓷之一, 其晶体折射率低, 呈棒状或面条状并相互交错^[1], 因此, 其具有良好的机械性能和美学效果, 广泛用于前牙区美学修复, 如瓷贴面及全瓷冠。颜色和半透明度 (transparency, TP) 是影响修复体的最终美学效果的关键因素。口腔陶瓷材料在受到老化因素作用时, 颜色和 TP 会发生不同程度的变化^[2], 影响修复效果。在修复体制作和椅旁试戴过程中常采用抛光和上釉等表面处理方式, 以期减少修复体的着色, 实现最佳的美学效果。抛光操作简便, 可提高表面光滑度^[3], 并减少细菌黏附。以往的研究^[4]表明, 上釉是减少陶瓷材料表面粗糙度的最佳方法。然而, 上釉操作相对复杂, 对修复体质量新进行热处理需要更长的时间^[5]。复杂的口腔环境可能会影响修复体的使用寿命和美学性能^[6]。国内外关于表面处理对 LDC 美学性能影响的研究均较少。本研究旨在探索、评估不同的表面处理对 LDC 的粗糙度、显微硬度以及浸入着色液体对其美学性能的影响, 筛选出理想的表面处理方式, 以便为临床工作提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂 LDC (UP.CAD 锂瓷, 深圳爱尔创口腔技术有限公司); 显微硬度计 (YZHV-1000C, 上海奕纵精密器械有限公司); 分光测色仪 (Ci7860, 美国爱色丽公司); 釉膏 (Realism 写实派全瓷烤瓷粉, 深圳爱尔创口腔技术有限公司); 陶瓷抛光工具 (玻璃陶瓷打磨抛光简易套装, 深圳爱尔创口腔技术有限公司); 抛光膏 (UPFLNT 口外研磨材料, 深圳爱尔创口腔技术有限公司); 原子力显微镜 (atomic force microscope, AFM) (NX20, 韩国 Park System 公司); 冷热循环机 (THE1400, 德国 SD Mechatronik GmbH 公司)。

1.2 样品的制备 LDC 试件制备: 选择高透明度 A2 色的 LDC 瓷块, 在流动水下使用硬组织切片机将玻璃陶瓷切割, 规格为 13 mm×15 mm×1 mm, 并用电子数显游标卡尺将试件的厚度误差控制在 0.02 mm 以内。选择一端作为工作面, 使用 600 目、800 目、1000 目砂纸打磨光滑后超声清洗 5 min, 完全干燥, 制备完成后的试件均在体视显微镜下观察, 确保无明显缺损。将试件按表面处理方法不同随机分为 5 组 ($n=6$), 进行表面处理。

1.3 试件的分组 A 组: 对照组, 打磨后不处理; B 组: 抛光组, 使用玻璃陶瓷抛光套装按照厂家要求由粗到细 (红色到黄色打磨头), 设置电动机转速 7 000 r/min, 抛光时间 60 s, 依次使用红色到黄色磨头按照相同程序进行抛光; C 组: 抛光工具+抛光膏组, 抛光程序同抛光组, 依次使用抛光套装中的红色及黄色磨头进行抛光, 而后依次蘸取适量抛光膏及精细

抛光膏于试件工作面进行抛光，设置电动机转速 7 000 r/min，抛光时间 60 s； D 组：上釉组，表面均匀涂釉液后放入烤瓷炉内预热 6 min，以 60 °C/min 的速率升温至 765 °C 后保持 1 min，抽真空后自然降温以完成上釉处理； E 组：抛光+上釉组，抛光及上釉程序同抛光组及上釉组。所有打磨抛光操作均由一人在同一台牙椅完成。操作完成后，将样品超声清洗 5 min，自然干燥。

1.4 表面粗糙度的测定 使用 AFM，调整至 NCM 扫描模式，扫描速度 1 Hz，扫描图像大小 100 μm×100 μm，像素点 256×256，每个试件随机选取 3 个区域进行扫描。获得扫描图像后使用相关软件进行分析，选择粗糙度 Sa 作为被测指标，结果取平均值。

1.5 表面显微硬度的测量 使用维氏显微硬度计测量试件的显微硬度。调整压力大小 0.98 N，载荷时间 5 s。将试件置于载物台，载荷后切换至物镜，拍摄照片，在相关软件中测量中央菱形压痕区域对角线长度，由软件得出其维氏硬度。

1.6 老化试验 将样品置于冷热循环仪中进行 5 000 次冷热循环，设定温度为 5 °C 和 55 °C，停留时间 20 s，完成后超声波清洗 5 min，完全干燥。将每组随机平均分为两个亚组（n=3），分别放置在两种不同溶液：① 超净水；② 染色液（红茶，农夫山泉），置于恒温箱，每个亚组浸入 200 mL 液体中，每天更换 1 次液体。在浸泡过程中，容器用 PVC 薄膜密封以防止蒸发。浸泡温度为 37 °C，浸泡时间 2 周。完成后将样本从测试溶液中取出，用超净水冲洗，用无氟牙膏刷样品 10 次，超声波清洗 5 min，完全干燥。

1.7 颜色及半透明参数的测定 在冷热循环和液体浸泡老化试验前及结束后进行颜色及半透明参数的测定。利用分光光度计在 D65 光源（6 500 K）下，采用 CIE L* a* b* 色度系统测量试件的 L*（亮度）、a*（红绿度量）、b*（黄蓝度量）值。颜色测定在灰色背景下进行，色差值（ΔE）>1.0 为视觉可见水平，ΔE 小于 3.3 为临床可接受水平。TP 的测定在黑色和白色背景下进行，测试时在试件和背景之间滴加甘油以确保光学连续性。试件每次旋转 120° 重复测量 3 次，取平均值。ΔE 及 TP 的计算公式如下：

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$$TP = [(L_{白}^* - L_{黑}^*)^2 + (a_{白}^* - a_{黑}^*)^2 + (b_{白}^* - b_{黑}^*)^2]^{1/2}$$

1.8 统计学处理 采用 SPSS 19.0 统计学软件对数据进行统计分析。对各组试件模拟老化前的粗糙度、显微硬度、颜色参数等进行单因素方差分析并使用 GraphPad Prism 软件进行可

可视化，对模拟老化前后的 ΔE 、 ΔTP 值进行双因素方差分析。上述方差分析均采用 Tukey 检验进行多重比较，检验水准为双侧 $\alpha=0.05$ ， $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 表面粗糙度 图 1A 为 AFM 三维立体扫描图像，图 1B 为 AFM 高度和振幅图像。将其用相关软件分析，得到相关粗糙度，其均值和方差结果如表 1。用 GraphPad Prism 软件对其粗糙度进行单因素方差分析并可视化，结果如图 1C。在模拟老化前，对照组粗糙度最大，具有明显的凹陷、凸起及划痕；抛光组经抛光工具抛光后，表面可见凹陷明显减少，试件的粗糙度大大降低，抛光+抛光膏组在此基础上用抛光膏研磨材料进行精细抛光后试件表面粗糙度进一步降低，表面痕较浅；上釉组经上釉后，表面粗糙度得到明显改善，稍低于抛光组，但表面出现较多不规则的细小突起，微观下表面平整度略弱于抛光+抛光膏组；抛光+上釉组同上釉组表面类似，但粗糙度较上釉组低。各组间粗糙度差异均有统计学意义($P<0.001$)。

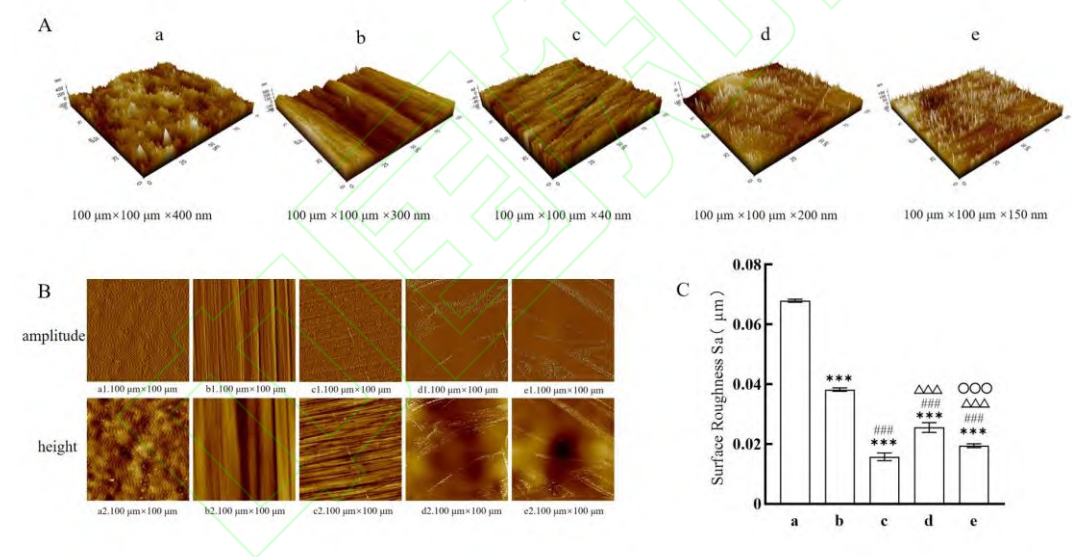


图 1 表面粗糙度的测定及结果

Fig.1 Determination and results of surface roughness

A: Three-dimensional AFM image; B: Amplitude/ height image; C: Surface roughness; a: Control group; b: Polishing group; c: Polishing+polishing paste group; d: Glazing group; e: Polishing+ glazing group ; *** $P<0.001$ vs Control group; ### $P<0.001$ vs Polishing group; △△△ $P<0.001$ vs Polishing+polishing paste group; ○○○ $P<0.001$ vs Glazing group.

表 1 表面处理后各组粗糙度 Sa 和维氏硬度 ($\bar{x} \pm s, n=6$)

Tab.1 Surface roughness Sa and Vickers hardness of each group after surface treatment

($\bar{x} \pm s, n=6$)

Group	Roughness Sa (μm)	Vickers-hardness (N/mm ²)
Control	0.067 9±0.000 5	741.72 ±18.55
Polishing	0.038 2±0.000 6	732.52 ±19.46
Polishing + polishing paste	0.015 8±0.001 3	729.78 ±26.01
Glazing	0.025 6±0.001 6	649.9 ±19.83
Polishing + glazing	0.019 5±0.000 6	653.25 ±9.28

2.2 表面显微硬度 使用维氏显微硬度计对样品表面进行维氏硬度测定，机器内拍摄照片如图 2A。用 GraphPad Prism 软件对其维氏显微硬度进行单因素方差分析并可视化，结果见表 1 和图 2B。与对照组相比，抛光组和抛光+抛光膏组试件显微硬度均无明显变化 ($P>0.05$)，上釉组和抛光+上釉组显微硬度略微降低 ($P<0.001$)。

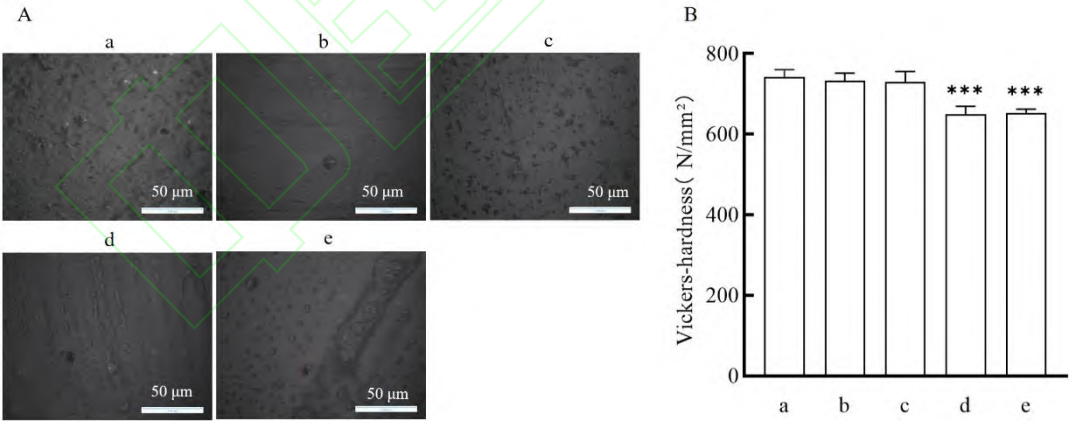


图 2 显微硬度的测定及结果

Fig.2 Measurement and results of microhardness

A: Microhardness photography of each group ×400; B: Vickers-hardness of each group;
a: Control group; b: Polishing group; c: Polishing+ polishing paste group; d: Glazing group; e:
Polishing+ glazing group;*** $P<0.001$ vs Control group.

2.3 颜色参数的测定结果 各组颜色参数差值及色差值见表 2（其中 water 和 tea 分别代表各组试件，使用去离子水或茶水进行模拟老化的亚组）。在去离子水中模拟老化后，各组试件颜色参数及色差值变化差异无统计学意义。在染色液体（茶水）中模拟老化后，各组试件（除抛光+上釉组） L*值均降低，各组试件 b*值不同程度升高，其中对照组 L*值、b*值变化差异有统计学意义($P<0.05$)，与对照组相比，其余各组的 ΔE 差异均有统计学意义($P<0.001$)，其中对照组的 ΔE 最大，其次为抛光组，抛光+抛光膏组、上釉组和抛光+上釉组之间的 ΔE 差异无统计学意义。模拟老化前后各组试件 TP 及其差值见表 3。在去离子水中模拟老化后，各组试件 ΔTP 无明显差异。在染色液体（茶水）中模拟老化后，与对照组相比，各组试件的 ΔTP 差异均有统计学意义 ($P<0.05$)，对照组的 ΔTP 最大，抛光组其次，抛光+抛光膏组、上釉组和抛光+上釉组之间的 ΔTP 差异无统计学意义。组间方差分析见表 4 和表 5，不同的表面处理、模拟老化及其两者交互作用对 ΔE ($P<0.001$) 和 ΔTP ($P<0.01$) 差异有统计学意义。各组模拟老化前后的色差及半透明度变化见图 3。

表 2 模拟老化后灰色背景板下各组颜色参数变化值及色差值 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Tab.2 Color parameter and color difference values of each group under gray background board after simulated aging ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Group	Subgroup	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Control	Water	-0.17 ± 0.03	0.05 ± 0.02	0.09 ± 0.02	0.20 ± 0.03
	Tea	-0.43 ± 0.12	0.11 ± 0.03	0.66 ± 0.10	0.80 ± 0.05
Polishing	Water	-0.12 ± 0.02	-0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.03	0.13 ± 0.02
	Tea	-0.28 ± 0.04	0.03 ± 0.02	0.19 ± 0.04	0.34 ± 0.02
Polishing + polishing paste	Water	0.03 ± 0.09	-0.02 ± 0.03	0.11 ± 0.02	0.14 ± 0.02
	Tea	-0.16 ± 0.03	0.00 ± 0.01	0.15 ± 0.02	0.22 ± 0.01
Glazing	Water	-0.13 ± 0.04	0.03 ± 0.02	0.09 ± 0.03	0.17 ± 0.01
	Tea	-0.16 ± 0.05	0.05 ± 0.03	0.20 ± 0.02	0.26 ± 0.02
Polishing +	Water	-0.04 ± 0.05	0.03 ± 0.02	0.08 ± 0.02	0.10 ± 0.01

glazing	Tea	0.15 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.19 ± 0.03	0.25 ± 0.01
---------	-----	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

表 3 模拟老化前后各组 TP 及 Δ TP ($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

Tab.3 TP and Δ TP of each group before and after simulated aging ($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

Group	Subgroup	TP before	TP after	Δ TP
		simulated aging	simulated aging	
Control	Water	16.10 ± 0.55	16.16 ± 0.56	0.06 ± 0.02
	Tea	16.28 ± 0.48	16.57 ± 0.44	0.30 ± 0.04
Polishing	Water	16.76 ± 0.39	16.84 ± 0.41	0.09 ± 0.03
	Tea	16.08 ± 0.21	16.28 ± 0.22	0.19 ± 0.04
Polishing + polishing paste	Water	16.37 ± 0.26	16.44 ± 0.25	0.08 ± 0.02
	Tea	16.81 ± 0.32	16.88 ± 0.34	0.08 ± 0.02
Glazing	Water	15.86 ± 0.12	15.97 ± 0.10	0.11 ± 0.01
	Tea	15.48 ± 0.11	15.58 ± 0.12	0.10 ± 0.01
Polishing + glazing	Water	16.08 ± 0.07	16.18 ± 0.06	0.09 ± 0.02
	Tea	15.80 ± 0.26	15.90 ± 0.25	0.10 ± 0.02

表 4 表面处理及模拟老化对 ΔE 的方差分析

Tab.4 Variance analysis of surface treatment and simulated aging on ΔE

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F value	P value
Surface	0.447	4	0.112	194.104	<0.001

treatment					
Simulated	0.387	1	0.387	672.626	<0.001
aging					
Interaction	0.285	4	0.071	123.562	<0.001
Error	0.012	20	0.001	-	-

表 5 表面处理及模拟老化对 ΔTP 的方差分析

Tab.5 Variance analysis of surface treatment and simulated aging on ΔTP

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F value	P value
Surface treatment	0.040	4	0.010	17.550	<0.001
Simulated aging	0.035	1	0.035	61.292	<0.01
Interaction	0.064	4	0.016	27.870	<0.001
Error	0.011	20	0.001	-	-

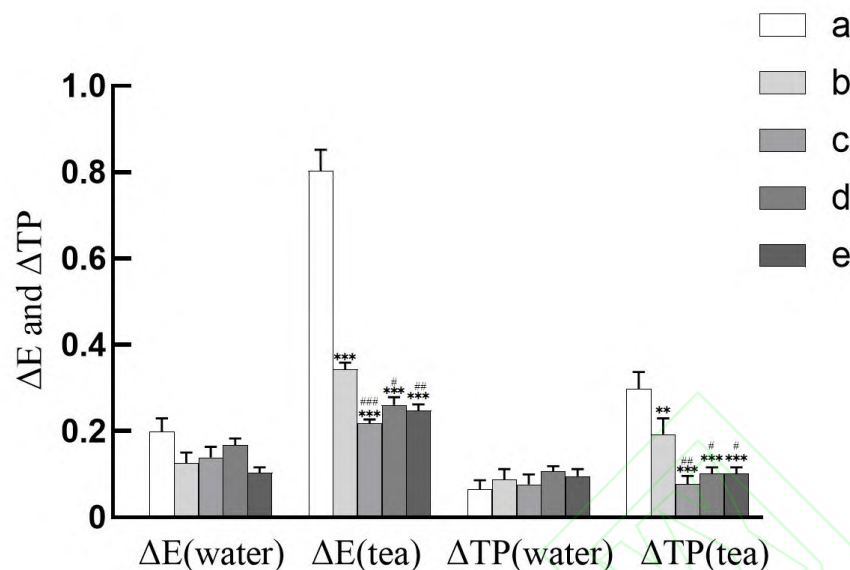


图 3 模拟老化后各组试件的 ΔE 和 ΔTP

Fig.3 ΔE and ΔTP of specimens in each group after simulated aging

a: Control group; b: Polishing group; c: Polishing+ polishing paste group; d: Glazing group; e: Polishing+ glazing group; ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$ vs Control group; # $P < 0.05$, ## $P < 0.01$, ### $P < 0.001$ vs Polishing group.

3 讨论

本实验使用抛光工具、抛光膏和釉膏均能有效降低试件的表面粗糙度。但上釉组试件表面平整度低于抛光+抛光膏组，且 AFM 观察到部分上釉区域局部存在微小的突起。抛光+上釉组与上釉组类似，二者表面粗糙度基本一致。在瓷材料变色的研究中，Soygun et al^[7]指出，表面孔隙率与 ΔE 水平成正比。在临床中，上釉和抛光是常用的陶瓷表面处理技术。上釉很好地满足了材料对表面特性的需求^[8]，然而，如果在上釉过程中釉料没有均匀地涂在表面上，则会影响表面特性^[9]。此外，修复体试戴时需调整咬合，导致表面釉层受到破坏^[10]。有报道^[11]称，修复体在口内中使用 6 个月，即可观察到釉层磨损。陶瓷表面的釉层受到破坏后，其粗糙表面对光线的反射较差，从而对修复体的美学性能产生负面影响。以上研究表明，上

釉技术会一定程度上影响材料的抗染色能力，在使用釉膏的过程中需要谨慎操作。

研究^[8, 10]表明，在精细抛光步骤中使用抛光膏是上釉的成功替代方案。口腔全瓷材料所用的抛光膏的有效成分通常为碳化硅(SiC)，其维氏硬度约 3200~3280HV^[12]，显著高于 LDC。在合适的压力下，这些磨料颗粒在修复体表面滚动，通过压入-滑移作用切削修复体材料表面凸起部分。抛光和上釉等表面处理方式对 LDC 的抗染色能力影响的机制可能有以下方面：机械抛光可去除修复体表面的不平整区域，从而减少色素颗粒的机械嵌合位点，降低色素的附着力；上釉是将熔融态玻璃料在修复体表面形成致密覆盖层，封闭修复体材料内部微孔隙和微裂纹，阻断色素颗粒的浸润路径，此外，釉料可提高修复体表面的疏水性，减少色素分子对修复体表面的吸附。

ΔE 值用于表示颜色的差别^[13]。一般认为 $\Delta E > 1$ 为肉眼可见水平， $\Delta E > 3.3$ 为临床不可接受水平^[2]。本研究中，各组均 $\Delta E < 1$ ，其中，抛光+抛光膏抛光组、上釉组和抛光+上釉组的颜色变化较小，而其他组 ΔE 均大于上述 3 组。有研究^[14]报道，咖啡、茶是显著影响“b”和“L”值的因素之一，喝咖啡或茶的人每天“b”平均增加 1.2 个单位，“L”平均减少 1.5 个单位，喝一杯咖啡或茶的平均时间是 15 min，平均每天喝 3.2 杯。因此，本研究中体外浸泡两周大致相当于口内使用 1 年。本研究中，各组试件经过模拟老化后“b”值均有不同程度地增加，“L”值不同程度地降低，因而导致 ΔE 变化。TP 是天然牙的重要特征之一，因而也是评价口腔修复材料的重要美学标准。本研究中，抛光+抛光膏抛光组、上釉组和抛光+上釉组的 ΔE 和 ΔTP 值较小，而对照组及抛光组的 ΔE 和 ΔTP 值较大，可能是因为其表面特性欠佳，表面孔隙较多，在模拟老化的过程中更容易吸附色素。

本研究中，使用含抛光膏的精细抛光和上釉均可有效降低 LDC 材料的表面粗糙度并提高其抗染色能力。在临床工作中，对修复体进行咬合调整后，如无条件上釉，可以使用含抛光膏的精细抛光方案，可达到类似的效果。因此，该研究表明，对于 LDC 的抗染色能力，使用抛光工具和抛光膏进行逐级抛光，能够达到与上釉相当的表面效果，精细抛光可以在临床操作中作为一种有效的表面处理方案。此外，上釉过程需要精确控制材料的涂布厚度和均匀性，在本实验条件下，上釉技术在一定程度上会影响材料的表面特性，进而影响材料的表面粗糙度和抗染色能力，因此在实际应用过程中，操作人员需注意上釉方法。

同时本研究也具有一定的诸如无法完全模拟天然形态的牙冠及复杂的口腔环境等局限性，所以未来的研究可能考虑使用具有牙冠解剖形态的标准试件和标准的咀嚼模拟环境，或

者是进一步开展相关临床研究。

参考文献

- [1] 赵 婷, 雷钰洁, 秦 毅, 等. 棒状二硅酸锂晶体增强铝硅酸锂玻璃陶瓷的制备及性能[J]. 陕西科技大学学报, 2020, 38(4): 101-6. doi:10.19481/j.cnki.issn2096-398x.2020.04.016.
- [1] Zhao T, Lei Y J, Qin Y, et al. Preparation and properties of lithium aluminosilicate glass-ceramics strengthened by rod-like lithium disilicate crystals[J]. J Shaanxi Univ Sci Technol, 2020, 38(4): 101-6. doi:10.19481/j.cnki.issn2096-398x.2020.04.016.
- [2] 刘晓强, 刘明月, 杨 洋, 等. 氧化锆和玻璃陶瓷颜色及半透明度稳定性的体外研究[J]. 口腔医学研究, 2021, 37(4): 335-8. doi:10.13701/j.cnki.kqyxyj.2021.04.013.
- [2] Liu X Q, Liu M Y, Yang Y, et al. *In vitro* study of color and translucency stability of zirconia and glass-ceramic[J]. J Oral Sci Res, 2021, 37(4): 335-8. doi:10.13701/j.cnki.kqyxyj.2021.04.013.
- [3] Steiner R, Beier U S, Heiss-Kisielewsky I, et al. Adjusting dental ceramics: an *in vitro* evaluation of the ability of various ceramic polishing kits to mimic glazed dental ceramic surface[J]. J Prosthet Dent, 2015, 113(6): 616-22. doi:10.1016/j.prosdent.2014.12.007.
- [4] Imirzalioglu P, Karacaer O, Yilmaz B, et al. Color stability of denture acrylic resins and a soft lining material against tea, coffee, and nicotine[J]. J Prosthodont, 2010, 19(2): 118-24. doi:10.1111/j.1532-849X.2009.00535.x.
- [5] Sagsoz O, Demirci T, Demirci G, et al. The effects of different polishing techniques on the staining resistance of CAD/CAM resin-ceramics[J]. J Adv Prosthodont, 2016, 8(6): 417-22. doi:10.4047/jap.2016.8.6.417.
- [6] Abdulrahman S, Von See Mahm C, Talabani R, et al. Evaluation of the clinical success of four different types of lithium disilicate ceramic restorations: a retrospective study[J]. BMC Oral Health, 2021, 21(1): 625. doi:10.1186/s12903-021-01987-1.
- [7] Soygun K, Varol O, Ozer A, et al. Investigations on the effects of mouthrinses on the colour stability and surface roughness of different dental bioceramics[J]. J Adv Prosthodont, 2017, 9(3): 200-7. doi:10.4047/jap.2017.9.3.200.
- [8] Kilinc H, Turgut S. Optical behaviors of esthetic CAD-CAM restorations after different surface finishing and polishing procedures and UV aging: an *in vitro* study[J]. J Prosthet Dent, 2018, 120(1): 107-13. doi:10.1016/j.prosdent.2017.09.019.
- [9] Kurt M, Bankoğlu Güngör M, Karakoca Nemli S, et al. Effects of glazing methods on the optical and surface properties of silicate ceramics[J]. J Prosthodont Res, 2020, 64(2): 202-9. doi:10.1016/j.jpor.2019.07.005.
- [10] Mohammadibassir M, Rezvani M B, Golzari H, et al. Effect of two polishing systems on surface roughness, topography, and flexural strength of a monolithic lithium disilicate ceramic[J]. J Prosthodont, 2019, 28(1): e172-e180. doi:10.1111/jopr.12586.
- [11] Stober T, Bermejo J L, Rammelsberg P, et al. Enamel wear caused by monolithic zirconia crowns after 6 months of clinical use[J]. J Oral Rehabil, 2014, 41(4): 314-22. doi:10.1111/joor.12139.
- [12] 曾尽娣, 宋晶晶, 张宇航, 等. 不同抛光处理全氧化锆修复体的表面粗糙度和细菌黏附[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(21): 3320-4. doi:10.12307/2023.174.
- [12] Zeng J D, Song J J, Zhang Y H, et al. Surface roughness and bacteria adhesion of full zirconia restoration after different polishing treatment[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2023, 27(21):

3320-4.doi:10.12307/2023.174.

[13] Lai Y L, Lui H F, Lee S Y. *In vitro* color stability, stain resistance, and water sorption of four removable gingival flange materials[J]. J Prosthet Dent, 2003, 90(3): 293-300. doi:10.1016/s0022-3913(03)00432-3.

[14] Ardu S, Duc O, Di Bella E, et al. Color stability of recent composite resins[J]. Odontology, 2017, 105(1): 29-35. doi:10.1007/s10266-016-0234-9.

