

# 二硅酸锂增强型玻璃陶瓷微创贴面的内部适合性与负荷承载能力之间的相关性

目的: 检验内部适合性 (internal accuracy) 是否会影响 0.5 mm 厚的切削或热压铸二硅酸锂 (LS2) 贴面的负荷承载能力 (load-bearing capacity)。

材料和方法: 根据粘接基质 (牙釉质 [E] 或牙本质 [D]) 和贴面的制作方法 (切削 [CAD] 或热压铸 [PRE]), 将离体磨牙 ( $N = 80$ ) 分为四组 (每组  $n = 20$ ): (1) E-CAD; (2) D-CAD; (3) E-PRE; (4) D-PRE。修复体制作完成后, 对基牙和相应的修复体进行扫描和配准, 以测量边缘和内部的适合性。修复体粘接后, 对样本进行热机械老化处理, 然后加载负荷直至修复体断裂。测量承载力 ( $F_{max}$ )。使用 Kruskal-Wallis 检验 ( $P < 0.05$ ) 和成对比较, 对组间的  $F_{max}$  及边缘和内部适合性进行比较。此外, 使用 Spearman 秩相关, 分析了  $F_{max}$  与内部适合性之间的关系。

结果: 各组  $F_{max}$  的中位数 (以及第一四分位数 Q1 和第三四分位数 Q3) 如下: E-CAD 为 1,495 N (Q1: 932, Q3: 2,318); E-PRE 为 1,575 N (Q1: 1,314, Q3: 1,668); D-CAD 为 1,856 N (Q1: 1,555, Q3: 2,013); D-PRE 为 1,877 N (Q1: 1,566, Q3: 2,131)。各组间无统计学差异 ( $P = 0.0981$ )。总体而言, 各组在牙尖 ( $P < 0.0007$ ) 和窝沟 ( $P < 0.0001$ ) 区域的内部适合性存在显著差异; 虽然在边缘区域未检测到显著差异 ( $P = 0.3518$ ), 但发现三维内部适合性与  $F_{max}$  值之间存在显著的负线性关系 ( $P = 0.0007$ )。

结论: 内部适合性的提高有助于改善微创二硅酸锂贴面的负荷承载能力。总体而言, 在咬合区, 粘接于牙本质上的修复体与粘接于牙釉质上的相比, 显示出更好的适合性。

关键词: 微创修复, 贴面, 增强型玻璃陶瓷, 修复体粘接

间接微创修复概念常用于治疗牙齿磨耗。<sup>1</sup> 对于后牙磨耗的患者, 贴面是一种合适的修复治疗选择。目前, 市场上有许多不同的修复材料可供选择, 这其中包括树脂基材料、聚合物渗透陶瓷网 (PICN) 材料、增强型陶瓷和 / 或高强度陶瓷。与陶瓷材料相比, 树脂基材料和 PICN 材料具有较低的硬度和脆性, 因此更适用于修复体厚度较薄的情况<sup>2</sup>; 然而, 增强型玻璃陶瓷或高强度陶瓷具有高弯曲强度和断裂韧性, 这些性能可能在贴面修复中更为有利。<sup>3,4</sup>

二硅酸锂 (LS2) 作为增强型玻璃陶瓷的代表, 具有良好的机械和粘接性能, 可用于制作贴面。<sup>5-8</sup> LS2 修复体可以通过热压铸或 CAD/CAM 切削来制作。<sup>9</sup> 制作过程本身会影响修复体的内部适合性。<sup>10</sup> 内部适合性是指修复体内表面与下方牙体组织之间的距离, 这也决定了水门汀的厚度。在制作过程中, 其大小由间隙剂的厚度来决定。对于采用传统失蜡法和热压铸技术制作的 LS2 修复体, 则由代型上涂布的间隙剂厚度决定。<sup>11</sup> 而在 CAD/CAM 技术中, 间隙剂厚度可以在修复体设计过程中预先设置, 这一参数已被证实会影响全瓷修复体的性能。<sup>12-14</sup> 修复体与牙体之间的界面易萌生裂纹 (被认为是裂纹起始区), 特别是在较薄的修复体中。<sup>12</sup> 裂纹可以向修复体的咬合面或边缘不断延伸, 最终导致修复体断裂、治疗失败。<sup>12</sup> 因此, 粘接修复体的机械稳定性可能取决于该区域的尺寸, 并可能随着厚度的增加而降低。此外, LS2 修复体的制作方法可以直接影响其抗断裂的机械性能,<sup>9</sup> 热压铸和 CAD/CAM 制作的修复体的物理性能有所不同。<sup>9</sup> 就其断裂韧性而言, 热压铸修复体似乎比 CAD/CAM 修复体更好。<sup>9</sup>

Nina Mörikofer 博士 (瑞士)  
苏黎世大学牙科医学中心口腔  
重建门诊

Goran I. Benic 博士 (瑞士)  
苏黎世大学牙科医学中心口腔  
重建门诊

Ji-Man Park 博士 (韩)  
首尔延世大学牙科学院修复科

Mutlu Özcan 教授, 博士 (瑞士)  
苏黎世大学牙科医学中心口腔  
重建门诊

Jürg Hüsler 博士, 退休教授 (瑞士)  
伯尔尼大学数理统计系

Alexis Ioannidis 博士 (瑞士)  
苏黎世大学牙科医学中心口腔  
重建门诊

通讯作者:  
Alexis Ioannidis 博士  
alexis.ioannidis@zzm.uzh.ch

与制作流程相关，材料种类和间隙剂厚度可能会影响修复体的抗断裂能力。因此，使用超薄瓷贴面修复磨损牙齿时，选择适当的材料至关重要。然而，关于这些参数对下颌负重区微创修复体力学性能的影响知之甚少。此外，修复体粘接基质也起着重要的作用。因此，本研究的目的是测试由热压铸或切削制作的 LS2 陶瓷超薄瓷贴面的负荷承载能力是否受到其内部适合性和粘接基质的影响。假设是：在咬合面区域，修复体与牙体之间的间隙越大，承载能力越低。

## 材料和方法

### 分组

各实验组（表 1）在瓷贴面粘接的牙齿基质（牙釉质 [E] 或牙本质 [D]）和 LS2 修复体的制作方法（切削 [CAD] 或热压铸 [PRE]）方面存在差异，被分为以下四组（每组 n = 20）进行评估：

1. E-CAD: CAD/CAM 制作 LS2 (IPS e.max CAD, 义获嘉伟瓦登特公司) 瓷贴面、粘接于牙釉质
2. E-PRE: 热压铸制作 LS2 (IPS e.max Press, 义获嘉伟瓦登特公司) 瓷贴面、粘接于牙釉质
3. D-CAD: CAD/CAM 制作 LS2 (IPS e.max CAD) 瓷贴面、粘接于牙本质
4. D-PRE: 热压铸制作 LS2 (IPS e.max Press) 瓷贴面、粘接于牙本质

### 样本预备

收集共 80 颗完整的人离体磨牙，根尖朝下置于丙烯酸空心圆柱体中，使用自固化树脂（Technovit 4071, Kulzer 公司）包埋（图 1）。为了模拟磨损引起的牙齿磨损，随机选择了 40 个样本磨除咬合面釉质、不暴露牙本质；其他 40 个样本则磨除至牙本质暴露，即完全磨除咬合面釉质，直至仅在边缘保留一圈牙釉质、而中央部分只为牙本质。此外，在全部 80 个样本中，对锋利边缘打磨圆钝；如果存在窝沟，则

在水冷却下用金刚砂车针轻微磨开。在整个研究过程中，样本被存放在 0.5% 氯胺 T 和蒸馏水的溶液中。

### 扫描程序、修复体设计与制作

使用口内扫描仪（CEREC Omnicam 4.4 版，登士柏西诺德公司）扫描预备好的牙齿，再将扫描数据导入设计软件（inLab, 登士柏西诺德公司）内，为每个样本设计标准厚度为 0.5 mm（范围为 0.3–0.7 mm）的瓷贴面修复体。

使用五轴切削设备（MC X5, 登士柏西诺德公司）直接切削预制的 LS2 瓷块（IPS e.max CAD），制作 E-CAD 和 D-CAD 组修复体。

对于 E-PRE 和 D-PRE 组的修复体，首先，通过切削工艺（inLab MC X5）制作丙烯酸酯聚合物蜡型（VITA CAD Waxx, 维他公司）。然后，通过失蜡法和热压铸技术制作 LS2 修复体（IPS e.max Press）：包埋蜡型（IPS PressVest Premium Powder, 义获嘉伟瓦登特公司）、加热至完全熔融形成铸模腔。之后，热压入 LS2 铸瓷瓷块，冷却后小心开圈，制作完成。

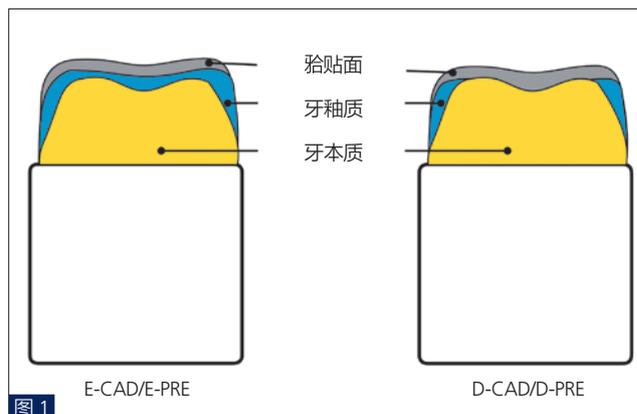


图 1: 包埋后的粘接基质分别为牙釉质（E-CAD 和 E-PRE）或牙本质（D-CAD 和 D-PRE）的样本示意图。修复体为由不同制作技术制作的二硅酸锂瓷贴面（E-CAD 和 D-CAD = 切削；E-PRE 和 D-PRE = 热压铸），厚度为 0.5 mm。

表 1: 各试验组的粘接基质、制作方法、修复材料。

分组	粘接基质	制作方法	修复材料
E-CAD	牙釉质	CAD/CAM 切削	二硅酸锂陶瓷 (IPS e.max CAD): SiO <sub>2</sub> (57–80 wt%), Li <sub>2</sub> O (11–19 wt%); K <sub>2</sub> O (0–13 wt%), P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (0–11 wt%), ZrO <sub>2</sub> (0–8 wt%), ZnO (0–8 wt%), AlO <sub>3</sub> (0–5 wt%), MgO (0–8 wt%)
E-PRE	牙釉质	热压铸	二硅酸锂陶瓷 (IPS e.max Press): SiO <sub>2</sub> (57–80 wt%), Li <sub>2</sub> O (11–19 wt%); K <sub>2</sub> O (0–13 wt%), P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (0–11 wt%), ZrO <sub>2</sub> (0–8 wt%), ZnO (0–8 wt%), AlO <sub>3</sub> (0–10 wt%), MgO (0–8 wt%)
D-CAD	牙本质	CAD/CAM 切削	二硅酸锂陶瓷 (IPS e.max CAD)
D-PRE	牙本质	热压铸	二硅酸锂陶瓷 (IPS e.max CAD)