



Facultad Ciencias de la Salud

Especialidad en operatoria dental y estética

Tema:

**Influencia del tratamiento de superficie en la resistencia adhesiva
de diferentes materiales híbridos para restauraciones
indirectas permanentes: Resinas impresas 3D vs CAD CAM.**

**Tesis para la obtención del Título de
“Especialista en operatoria dental y estética”**

Presentada por:

Silvana Rosa Palomeque Herrera

Tutor:

Camilo Andrés Pulido Mora

Quito, diciembre del 2024

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la resistencia adhesiva de diferentes materiales híbridos para restauraciones indirectas permanentes después de diferentes pretratamientos. Se fabricaron un total de 192 especímenes de material híbrido CAD/CAM: cinco mediante impresión 3D (Varseosmile Crown Plus - BEGO (VSC), Crowntec - Saremco Print (CWT), Biocrown - Prizma (BCN), Ceramic Crown - SprintRay (CCN), Voxel Print – FGM (VXP) y tres mediante fresado: Cerasmart - GC (CSM) y Brilliant Crios - Coltene (BCR) y Enamic - Vita (ENA); fueron divididos en 2 subgrupos según el tratamiento de superficie realizado (n=12): AL+S: Arenado con óxido de aluminio y Silano; HF+S: Ácido fluorhídrico y Silano. Una vez realizados los tratamientos de superficie correspondientes, se seleccionaron especímenes aleatoriamente de cada grupo, para las pruebas de microcizallamiento (n=10) y para la microscopía electrónica de barrido (n=2). Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de dos vías para detectar diferencias significativas entre las variables de tratamiento de superficie y material ($p < 0,05$). Se observó que, de manera general, las muestras tratadas con AL + S tuvieron como resultado los valores más altos, excepto por ENA y VXP. En contraste, los grupos BCN y BCR que fueron tratados con HL + S tuvieron los valores promedio más bajos. La aplicación de arenado con óxido de aluminio y el uso de silano demostraron ser apropiados tanto para materiales fresados como para impresos 3D, mientras que el grabado con ácido fluorhídrico no es recomendable para todas las cerámicas híbridas CAD/CAM, el presente estudio ofrece información relevante para la planificación del pretratamiento según las características específicas de cada material.

Palabras clave: Impresión 3D, Fabricación aditiva, Restauración permanente, CAD-CAM, Pretratamiento.

Declaración de Aceptación de Norma Ética y Derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

Silvana Rosa Palomeque Herrera

C.I: 0302396551

Dedicatoria

A mis amadas hijas Mariangel y María Sol, el motivo y la inspiración más pura de mi vida. Su amor incondicional y fortaleza silenciosa me impulsaron a superar cada obstáculo que este camino presentó. Aunque la distancia nos separó en muchos momentos, cada sacrificio estuvo lleno de propósito: construir para ustedes un futuro lleno de posibilidades y sueños realizados.

A mis queridos padres, quienes fueron mi refugio y mi apoyo inquebrantable. Su amor, sabiduría y entrega me sostuvieron en los días más difíciles, permitiéndome continuar con la certeza de que no caminaba sola. Su cuidado y dedicación hacia mis hijas mientras yo perseguía este sueño son un ejemplo eterno de generosidad y amor verdadero.

Y a mí misma, por la determinación de persistir a pesar de los desafíos que implicó este camino. Por no rendirme en los días oscuros, por transformar las adversidades en aprendizajes y por demostrarme que el esfuerzo y la resiliencia siempre encuentran recompensa.

Este logro no es solo una culminación académica, sino un tributo a la fortaleza, el amor y la fe que nos sostuvieron a lo largo de este trayecto. Con todo mi corazón, lo dedico a ustedes y a la mujer que soy hoy.

Tabla de contenido

Índice de Tablas	6
Índice de Figuras.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	10
Introducción	10
Metodología	14
Elaboración de los especímenes.....	14
Preparación de los cuerpos de prueba.....	18
Prueba de microcizallamiento.....	20
Microscopía electrónica de barrido.....	21
Análisis Estadístico.....	22
Hallazgos.....	22
Microcizallamiento	22
Microscopía de Barrido.....	25
Discusión.....	27
Conclusiones	30
Referencias.....	31

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros de impresión y post - polimerización de los materiales impresos 3D.....	14
Tabla 2. Materiales usados en este estudio.	16
Tabla 3. Valores promedio de resistencia adhesiva al microcizallamiento (MPa) y desviación estándar de cada material según el tratamiento de superficie realizado.	22

Índice de Figuras

Figura 1. Ilustración del proceso de prueba de microcizallamiento.	21
Figura 2. Valores promedio de resistencia adhesiva al microcizallamiento (MPa) y desviación estándar de cada material según el tratamiento de superficie realizado.	24
Figura 3. Imagen representativa del tratamiento de la superficie de los diferentes materiales del estudio.	25

Influencia del tratamiento de superficie en la resistencia adhesiva de diferentes materiales híbridos para restauraciones indirectas permanentes: Resinas impresas 3D vs CAD CAM.

Silvana Rosa Palomeque Herrera

Universidad de los Hemisferios

srpalomequeh@estudiantes.uhemisferios.edu.ec

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la resistencia adhesiva de diferentes materiales híbridos para restauraciones indirectas permanentes después de diferentes pretratamientos. Se fabricaron un total de 192 especímenes de material híbrido CAD/CAM: cinco mediante impresión 3D (Varseosmile Crown Plus - BEGO (VSC), Crowntec - Saremco Print (CWT), Biocrown - Prizma (BCN), Ceramic Crown - SprintRay (CCN), Voxel Print – FGM (VXP) y tres mediante fresado: Cerasmart - GC (CSM) y Brilliant Crios - Coltene (BCR) y Enamic - Vita (ENA); fueron divididos en 2 subgrupos según el tratamiento de superficie realizado (n=12): AL+S: Arenado con óxido de aluminio y Silano; HF+S: Ácido fluorhídrico y Silano. Una vez realizados los tratamientos de superficie correspondientes, se seleccionaron especímenes aleatoriamente de cada grupo, para las pruebas de microcizallamiento (n=10) y para la microscopía electrónica de barrido (n=2). Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de dos vías para detectar diferencias significativas entre las variables de tratamiento de superficie y material ($p < 0,05$). Se observó que, de manera general, las muestras tratadas con AL + S tuvieron como resultado los valores más altos, excepto por ENA y VXP. En contraste, los grupos BCN y BCR que fueron tratados con HL + S tuvieron los valores promedio más bajos. La aplicación de arenado con óxido de aluminio y el uso de silano demostraron ser apropiados tanto para materiales fresados

como para impresos 3D, mientras que el grabado con ácido fluorhídrico no es recomendable para todas las cerámicas híbridas CAD/CAM, el presente estudio ofrece información relevante para la planificación del pretratamiento según las características específicas de cada material.

Palabras clave: Impresión 3D, Fabricación aditiva, Restauración permanente, CAD-CAM, Pretratamiento.

Abstract

This study aimed to evaluate the adhesive strength of different hybrid materials for permanent indirect restorations after different pretreatments. A total of 192 CAD/CAM hybrid material specimens were fabricated: five by 3D printing (Varseosmile Crown Plus - BEGO (VSC), Crowntec - Saremco Print (CWT), Biocrown - Prizma (BCN), Ceramic Crown - SprintRay (CCN), Voxel Print – FGM (VXP) and three by milling: Cerasmart - GC (CSM) and Brilliant Crios - Coltene (BCR) and Enamic - Vita (ENA); they were divided into 2 subgroups according to the surface treatment performed (n=12): AL+S: Sandblasting with aluminum oxide and Silane; HF+S: Hydrofluoric acid and Silane. Once the corresponding surface treatments had been performed, specimens were randomly selected from each group for microshear testing (n=10) and for scanning electron microscopy (n=2). The data were analyzed by a Two-way variance was used to detect significant differences between the surface and material treatment variables ($p < 0.05$). It was observed that, in general, the samples treated with AL + S resulted in the highest values, except for ENA and VXP. In contrast, the BCN and BCR groups that were treated with HL + S had the lowest average values. Sandblasting with aluminum oxide and the use of silane proved to be appropriate for both milled and 3D printed materials, while hydrofluoric acid etching is not recommended for all CAD/CAM hybrid ceramics, the present study offers relevant information for pretreatment planning according to the specific characteristics of each material.

Keywords: 3D printing, Additive manufacturing, Permanent restoration, CAD-CAM, Pretreatment.

Introducción

En los últimos años, la odontología digital está experimentando un crecimiento rápido y constante, revolucionando el campo de la odontología a un ritmo excepcional, la tecnología de diseño y fabricación asistida por computadora (CAD/CAM) (Mayer, et al., 2021) junto con la fabricación aditiva o la impresión 3D son sin lugar a dudas, tecnologías innovadoras que están siendo cada vez más utilizadas en el campo dental tanto en el consultorio como en el laboratorio. (Alshamrani, et al., 2023).

La tecnología de diseño y fabricación asistida por computadora (CAD/CAM) se divide en métodos de fabricación sustractiva y aditiva, la fabricación sustractiva implica el uso de tecnologías de mecanizado y fresado (CAM) y ablación por láser, mientras que la fabricación aditiva incluye tecnologías como la impresión 3D y la fusión por láser (CAD) (Alageel, et al., 2019). La fabricación sustractiva, específicamente el fresado, es el método predominante en la fabricación de restauraciones permanentes, por la composición de los materiales que incluyen metales, cerámicas y resina compuesta; estudios comparativos han demostrado que estos materiales presentan mejores propiedades mecánicas comparadas con las cerámicas convencionales. (Donmez, et al., 2023). Sin embargo, los materiales de fabricación aditiva (impresión 3D) se fundamentan en la creación de objetos a través de la polimerización en capas sucesivas de un fotopolímero líquido dentro de una cámara, utilizando un láser ultravioleta con una fuente de luz intensa o un panel LCD creando así la restauración final (Yıldırım M., Aykent F., & Özdoğan M. S. 2024), (Kessler, Hickel, Reymus 2020), las cuales también poseen propiedades mecánicas y estéticas excelentes comparables con los materiales compuestos convencionales, estas características sugieren una mayor durabilidad y biocompatibilidad de las restauraciones permanentes indirectas en la odontología moderna (Prause, et al., 2022)

(Paradowska-Stolarz, et al., 2023) (Schweiger J., Edelhoff D., Guth J., 2021) La mayor ventaja que presentan estos sistemas de impresión 3D es la simplicidad en su ejecución para los procedimientos clínicos en restauraciones indirectas, representando un beneficio en términos de precisión, reproducibilidad, tiempo y rentabilidad. (Grzebieluch, et al., 2021).

Recientemente, los materiales fabricados mediante impresión 3D presentan contenido cerámico, diseñado para integrar la ventaja de la resistencia mecánica de la cerámica con la flexibilidad propia de la resina (Mangoush, et al., 2021). No obstante, se requiere la realización de ensayos clínicos para estandarizar resultados y evaluar su desempeño con respecto a la resistencia de unión entre los materiales permanentes híbridos CAD/CAM para fresado e impresión 3D en las aplicaciones clínicas a largo plazo. (Suksuphan, et al., 2023). Con el rápido avance de nuevos materiales, tecnologías de impresión y máquinas, es probable que la impresión 3D transforme por completo los métodos tradicionales de enseñanza y experimentación. (Tian, et al., 2021). La impresión 3D ofrece beneficios frente al fresado, ya que genera menos residuos, permite la fabricación de múltiples restauraciones al mismo tiempo con un ajuste marginal preciso, morfología detalladas y patrones de fisuras en las restauraciones dentales similares a las de las restauraciones realizadas mediante fresado (Haddadi, et al., 2021). Sin embargo, es importante mencionar que esto depende de la selección de los parámetros de impresión 3D, al tamaño de cada vóxel y espesor de capa, teniendo una influencia directa en la resolución y calidad de la restauración (Jeong, et al., 2023) (Cardoso, et al., 2024).

Gracias al avance constante en los materiales híbridos CAD/CAM, en la actualidad pueden imprimir restauraciones permanentes, que se cementan de forma

adhesiva (Karaođlanođlu, et al., 2023). No obstante, resulta fundamental evaluar cómo se desempeñan las restauraciones producidas mediante técnicas de impresión 3D y fresado una vez que están adheridas con cemento, ya que la interfaz de unión entre el material restaurador y el diente puede verse significativamente fortalecida mediante tratamientos de superficie que crean retención micromecánica y/o interacción química. Además de las características inherentes del material, los tratamientos como el grabado con ácido fluorhídrico o arenado con óxido de aluminio (Al_2O_3) y posterior silanizado son fundamentales para optimizar la adhesión con el objetivo de garantizar la longevidad y el éxito clínico de las restauraciones.

En términos generales, existe una demanda cada vez mayor de investigaciones que aborden los materiales utilizados en la fabricación aditiva de restauraciones ya que aún son escasos los datos de pretratamiento adecuados en materiales impresos en 3D en donde se demuestre cuál de las diferentes estrategias de acondicionamiento mejore la fuerza de unión, la rugosidad y la energía superficial en comparación con los materiales de fresado (Spitznagel, et al., 2014) (Lankes, et al., 2022).

Por esto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto del tratamiento de superficie (arenado con óxido de aluminio o aplicación de ácido fluorhídrico) sobre las superficies de ocho materiales híbridos CAD/CAM diferentes para restauración permanente (tres para fresado y cinco para impresión 3D) en la resistencia adhesiva al microcizallamiento. Por lo tanto la hipótesis nula del presente trabajo es: No hay diferencia significativa en 1) los valores de resistencia adhesiva al microcizallamiento y 2) el patrón superficial con diferentes tratamientos de superficie entre resinas híbridas fabricadas de forma aditiva y sustractiva para restauraciones indirectas permanentes.

Metodología

En el presente estudio se utilizaron cinco materiales para restauraciones definitivas impresos en 3D: Varseosmile Crown Plus - BEGO (VSC), Crowntec - Saremco Print (CWT), Biocrown - Prizma (BCN), Ceramic Crown - SprintRay (CCN), Voxel Print – FGM (VXP) y tres para fresado CAD/CAM: Cerasmart - GC (CSM) y Brilliant Crios - Coltene (BCR) y Enamic - Vita (ENA).

Elaboración de los especímenes

Para los materiales CAD/CAM se cortaron bloques (12mm x 14mm x 18mm) en 2 secciones de 6 mm x 7 mm x 9 mm, utilizando una cortadora de precisión y un disco de diamante de baja velocidad (ISOMET, Buehler, USA). Para los materiales impresos en 3D, se diseñaron muestras en forma de láminas de 6 mm x 7 mm x 9 mm utilizando una aplicación de diseño en 3D (MeshMixer, Autodesk, San Rafael, CA, Estados Unidos), después de eso, los datos se convirtieron a archivos de lenguaje de estereolitografía (STL). Las especificaciones de procesamiento de luz, impresión, ángulo de impresión, espesor de capa y post-polimerización de dichos materiales se describen en la Tabla 1.

Los especímenes (N=192) fueron divididos en 2 subgrupos según el tratamiento de superficie realizado (n=12): AL+S: Arenado con óxido de aluminio y Silano; HF+S: Ácido fluorhídrico y Silano.

La descripción de los materiales usados en el presente estudio se encuentra en la Tabla 2.

Tabla 1.

Parámetros de impresión y post - polimerización de los materiales impresos 3D.

Materiales usados	Parámetros de fabricación	Impresora	Post-polimerización	Lote
Varseosmile Crown Plus	Procesamiento de luz: DLP	Varseo XS BEGO	Otoflash BEGO	600332
	Ángulo de impresión: 90°			
	Espesor de capa: 50um			
Saremco Print Crowntec	Limpieza: etanol 96%, 3 minutos	Asiga Max UV	Otoflash G171 NK Optik	367283
	Procesamiento de luz: DLP			
	Ángulo de impresión: 0°			
Prizma Biocrown	Espesor de capa: 50um	Asiga Max UV	Otoflash G171 NK Optik	563975
	Limpieza: etanol 95%, 5 minutos			
	Procesamiento de luz: DLP			
Sprintray Crown	Ángulo de impresión: 90°	SprintRay Pro S 3D	SprintRay ProCure 2	020205 7
	Espesor de capa: 100um			
	Limpieza: alcohol isopropílico, 5 minutos			
Sprintray Crown	Procesamiento de luz: DLP	SprintRay Pro S 3D	SprintRay ProCure 2	020205 7
	Ángulo de impresión: 0°			
	Espesor de capa:			

Voxel Print	50um			
	Limpieza: alcohol isopropílico 95%, 5 minutos			
	Procesamiento de luz: LCD	Creality, Halot Sky	Creality, UW-02	129684
	Espesor de capa: 0,10mm			
	Limpieza: alcohol isopropílico 96%			

Tabla 2.

Materiales usados en este estudio.

Materiales	Composición	Fabricante	Código
Varseosmile Crown Plus	Vidrio dental silanizado relleno de cerámica (30-50% en peso de rellenos inorgánicos; tamaño de partícula 0,7 µm), benzoilformiato de metilo, material híbrido de óxido de difenil (2,4,6-trimetilbenzoil)fosfina	BEGO, Bremen, Germany	VSC
Saremco Print Crowntec	Bis-EMA, vidrio dental y cargas de sílice (30-50%) iniciadores, inhibidores y pigmentos de color.	Saremco Dental AG, Rebstein, Suiza	CWT
Prizma Biocrown	Monómeros metacrilados, sílice amorfa 8%, dimetacrilato de uretano 75%, dióxido de titanio 0,5%, circonio silanizado 2%, cargas cerámicas 15%, óxido de difenil (2,4,6-trimetilbenzoil)	Prizma 3D, Estambul, Turquía	BCN

	fosfina 5%		
Sprintray Crown	Productos de esterificación de 4,4'-isopropilidifenol, ácido etoxilado y 2-metilprop-2enoico, vidrio dental silanizado, metilbenzoilformiato, óxido de difenil(2,4,6-trimetilbenzoil) fosfina. La proporción total de cargas inorgánicas (tamaño de partícula de 0,7 µm) asciende al 30-50% en masa.	SprintRay Inc, Los Angeles, CA, USA	CCN
Voxel Print	Partículas de vidrio radiopaco silanizado (57-63%), monómeros metacrílicos (35-45%), estabilizadores (<2%), sistema fotoiniciador (<2%) y pigmentos (<1%).	FGM Dental Group, Joinville, SC, Brasil	VXP
Brilliant Crios	70,7% en peso de vidrio de bario (< 1 µm) y sílice amorfa (SiO ₂ ; <20 nm), metacrilatos reticulados y pigmentos inorgánicos como óxido ferroso o dióxido de titanio.	COLTENE, Altstätten, SG, Suiza	BCR
Cerasmart	Resina rellena de nanopartículas que contiene 71% en peso de sílice (20nm) y relleno de vidrio de bario (300nm).	GC Corp., Tokio, Japón	CSM
Enamic Vita	UDMA, TEGDMA (14 % en peso) Red cerámica de feldespatos (86 % en peso)	Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Alemania	ENA
Ácido ortofosfórico	Espesante, metilparabeno, colorante azul y agua desionizada.	Ivoclar, AG	

Variolink Esthetic LC	Dimetacrilato de uretano, trifluoruro de iterbio, dimetacrilato de 1,10- decandiol, 38% de cargas inorgánicas.	Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtensein
Monobond N	Metacrilato de silano, metacrilato de ácido fosfórico y metacrilato de sulfuro.	Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtensein
Óxido de Aluminio 50 micrones	Trióxido de aluminio	São Carlos, Brasil
Ácido Fluorhídrico	Hidrógeno y flúor	Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtensein

Preparación de los cuerpos de prueba

Para obtener una morfología superficial estándar, la superficie de cada muestra se pulió con papel de lija de Carburo de Silicio con granulación descendente: 600, 1000, 1500, 2000, 2500 (3M EE.UU., Minnessota) hasta obtener un sustrato uniforme, se limpiaron las muestras en Ultrasonido (Branson Ultrasonics, St. Louis, MO, Estados Unidos) con agua destilada durante 180 segundos, después de cada lija y se secaron inmediatamente con aire libre de aceite.

Posteriormente, se rellenaron cilindros de polivinil cloruro (PVC) con resina acrílica (Duralay, Reliance Dental Mfg. Co.) los especímenes de materiales impresos y fresados que fueron obtenidos previamente, fueron embebidos en la resina acrílica dejando expuesta una superficie de las láminas. Los tratamientos de superficie fueron realizados con las siguientes especificaciones:

- AL+S: Microarenado con partículas de óxido de aluminio de 50 μm (Bio-art, São Carlos, Brasil) con un arenador de consultorio en húmedo (AquaCare, Velopex International, Londres, Reino Unido) durante 15s a una distancia de 10 mm a una presión de 2 bares. Posteriormente las muestras fueron tratadas con ácido fosfórico al 37% (Total Etch; Ivoclar AG) durante 30 segundos, seguido de lavado y secado por 1 minuto y se limpiaron en una cámara ultrasónica por 180 segundos. Después se aplicó un primer con silano (Monobond N; Ivoclar, Shcaan, Liechtenstein) usando un microaplicador (Microbrush International, Wisconsin, Estados Unidos) y se dejó actuar durante 60 segundos.

- HF+S: Las superficies se grabaron utilizando un gel de ácido fluorhídrico al 5% (IPS Ceramic Etching Gel 5 ml, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) con un microaplicador (Microbrush International, Wisconsin, Estados Unidos) dejándolo actuar durante 20 segundos. Después, se lavó y se secó la superficie con agua y aire por 1 minuto. Posteriormente las muestras fueron tratadas con ácido fosfórico al 37% (Total Etch; Ivoclar AG) durante 30 segundos, seguido de lavado y secado por 1 minuto y se limpiaron en una cámara ultrasónica por 180 segundos. Luego, se aplicó un primer con silano (Monobond N; Ivoclar, Shcaan, Liechtenstein) usando un microaplicador (Microbrush International, Wisconsin, Estados Unidos) y se dejó actuar durante 60 segundos.

Una vez realizados los tratamientos de superficie correspondientes, se seleccionaron especímenes aleatoriamente de cada grupo, para las pruebas de microcizallamiento ($n=10$) y para la microscopía electrónica de barrido ($n=2$).

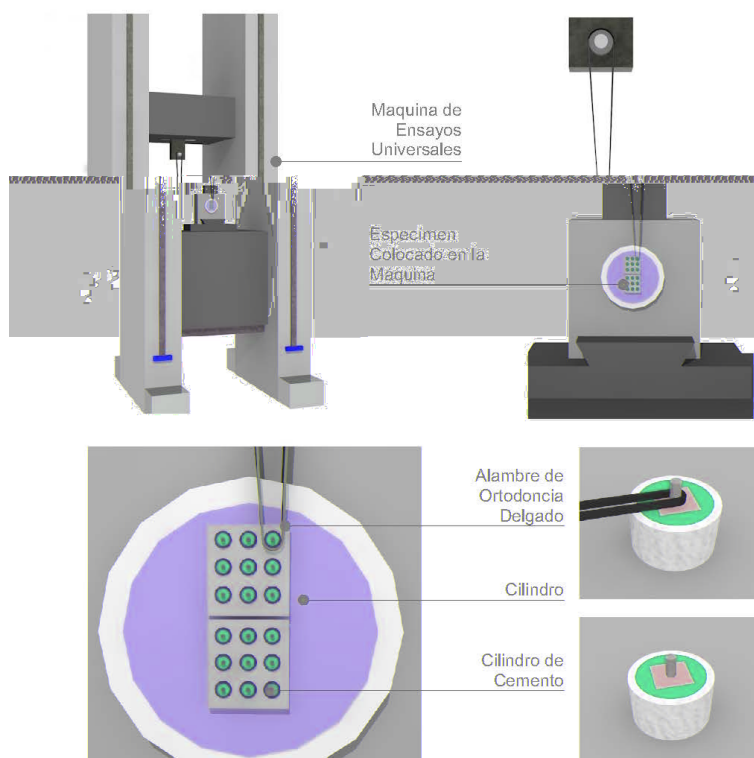
Prueba de microcizallamiento

Se procedió a colocar 9 tubos de polietileno transparente del tipo Tygon (Tygon ODEME Dental Research, São Carlos, Brasil), con un diámetro interno de 0,8 mm y 0,5 mm de alto, colocado sobre la superficie de cada resina impresa y fresada tratada previamente. Posteriormente se introdujo cuidadosamente el cemento Variolink Esthetic LC (Ivoclar Vivadent, Schaan, Litchestein) en cada tubo. Luego se colocó una tira de Mylar sobre el tubo Tygon lleno y se presionó suavemente. A continuación, las muestras se fotopolimerizaron durante 20 segundos utilizando una unidad de polimerización LED con una intensidad de 2000 mw/cm² (Bluephase NG4, Ivoclar Vivadent, Schaan, Litchestein). Se utilizó un bisturí # 11 para retirar los tubos tygon y exponer los cilindros de cemento. Cada muestra se examinó bajo un microscopio estereoscópico con un aumento de 10X para descartar cilindros con porosidad o espacios en la base. Las muestras se almacenaron en humedad de 70% a 37° C durante 24 horas en una incubadora de calor húmedo (Estufa Universal UF260-Memmert GmbH+Co., Schwabach, Alemania).

Finalmente, las muestras se sometieron a una prueba de resistencia de unión por microcizallamiento en una máquina de Ensayos Universales (ODEME, OM150, São Carlos, Brasil) a una velocidad de 0,5mm/min hasta la fractura. Para ello, cada espécimen fue colocado en la máquina de ensayos universal y alrededor de cada cilindro se colocó alambre de ortodoncia delgado (Morelli, Ciudad etc) de (0,2 mm de diámetro), el cual hizo contacto con el cilindro de cemento en la mitad de su circunferencia. El conjunto se mantuvo alineado (interfase cilindro de cemento - resina, el bucle de alambre y el centro de la celda de carga) para asegurar la correcta orientación de las fuerzas de cizallamiento (figura 1). Los valores de resistencia adhesiva (MPa) se calcularon dividiendo la carga de falla por el área de superficie (mm²).

Figura 1.

Ilustración del proceso de prueba de microcizallamiento.



Microscopía electrónica de barrido

Se obtuvieron imágenes representativas de los tratamientos superficiales de cada grupo. Estas muestras fueron metalizadas con un recubrimiento de oro/paladio en un evaporador al vacío (SCD050, Balzers; Schaan, Liechtenstein), para luego ser evaluadas bajo un microscopio

electrónico de barrido (SEM, MIRA3 LM, Tescan Orsay Holding; Warrendale, PA, USA) con una ampliación de (10 KX).

Análisis estadístico

La distribución normal de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilks y posteriormente se sometió a una prueba de análisis de varianza (ANOVA) de 2 vías para detectar diferencias significativas entre las variables de tratamiento de superficie y material. Posteriormente se realizó el post-test de Tukey para encontrar diferencias entre grupos ($p < 0,05$).

Hallazgos

Microcizallamiento

Para el número de materiales evaluados, este estudio in vitro tuvo un adecuado poder estadístico para ambas variables independientes (más del 90,0%; $\alpha=0,05$).

Los valores medios de resistencia adhesiva al microcizallamiento tuvieron una influencia estadísticamente significativa según la estrategia de pretratamiento de la superficie ($p < 0,001$) y el tipo de material ($p < 0,001$). Se observó que, de manera general, las muestras tratadas con AL + S tuvieron como resultado los valores más altos, excepto por ENA y VXP. En contraste, los grupos BCN y BCR que fueron tratados con HL + S tuvieron los valores promedio más bajos. Los valores promedio y la desviación estándar de la resistencia adhesiva al microcizallamiento se resumen en la Tabla 3 y la figura 2.

Tabla 3.

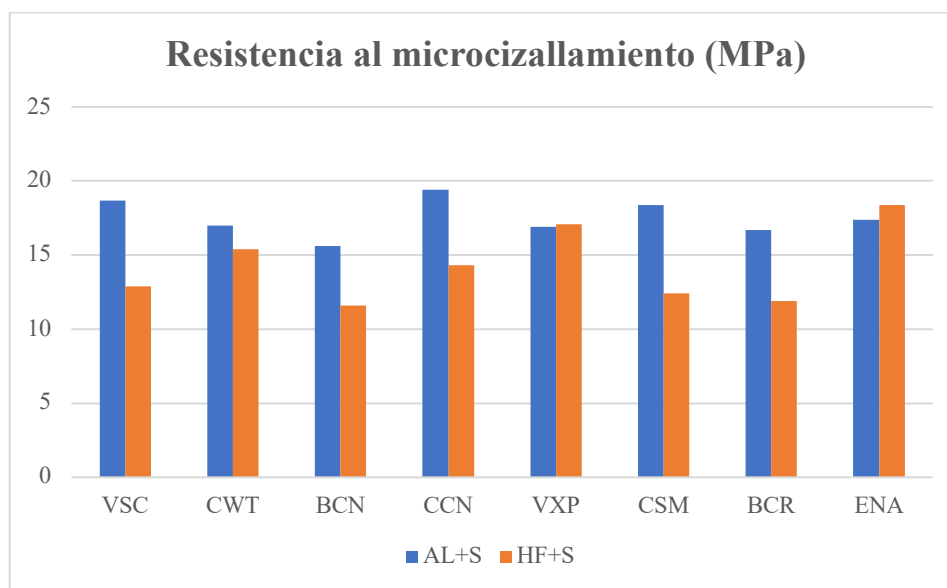
Valores promedio de resistencia adhesiva al microcizallamiento (MPa) y desviación estándar de cada material según el tratamiento de superficie realizado.

	AL+S	HF+S
VSC	18.74 ± 2.2 Aa	12.93 ± 2.1 Ab
CWT	17.02 ± 1.3 Ba	15.41 ± 2.0 Bb
BCN	15.64 ± 2.3 Ba	11.67 ± 2.0 Ab
CCN	19.49 ± 2.8 Aa	14.32 ± 1.5 Bb
VXP	16.93 ± 1.2 Ba	17.12 ± 1.4 Ca
CSM	18.45 ± 1.1 Ba	12.43 ± 1.7 Ab
BCR	16.73 ± 2.7 Ba	11.92 ± 2.8 Aa
ENA	17.45 ± 2.6 Ba	18.47 ± 1.0 Db

Entre de cada producto, los promedios seguidos de letras similares (letras mayúsculas = dentro de la columna; letras minúsculas = dentro de la fila) no representan diferencia estadística significativa (alfa pre establecido de 0,05).

Figura 2.

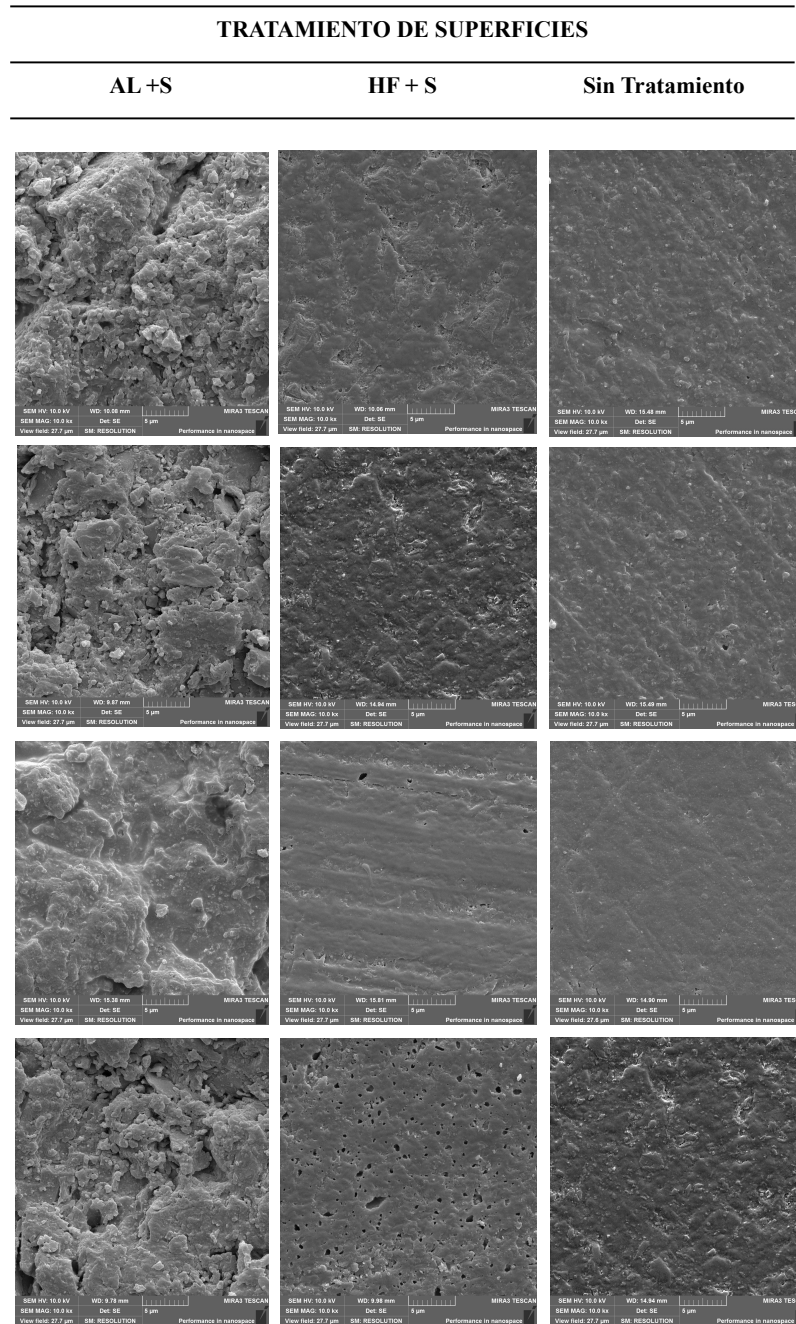
Valores promedio de resistencia adhesiva al microcizallamiento (MPa) y desviación estándar de cada material según el tratamiento de superficie realizado.



Microscopía de barrido

Figura 3.

Imagen representativa del tratamiento de la superficie de los diferentes materiales del estudio.



TRATAMIENTO DE SUPERFICIES

	AL + S	HF + S	Sin tratamiento
VXP			
BCR			
CSM			
ENA			

MATERIAL

VXP

BCR

CSM

ENA

Discusión

En el presente estudio, la hipótesis nula planteada inicialmente fue rechazada, porque los dos pretratamientos utilizados mostraron una influencia significativa en la resistencia de unión al microcizallamiento entre los distintos materiales híbridos CAD/CAM.

Se encontró que, de manera general, las muestras tratadas con AL + S tuvieron como resultado los valores más altos, excepto por ENA (17.45 MPa) y VXP (16.93 MPa). En contraste los grupos BCN (11.67 MPa) y BCR (11.92 MPa) que fueron tratados con HL + S tuvieron los valores promedios más bajos. Estos hallazgos pueden deberse a que en el pretratamiento con AL + S se genera una mayor rugosidad superficial, lo que proporciona una mejor adhesión, gracias a su textura más áspera, permitiendo una mayor superficie de contacto con la resina, lo que favorece a una unión más resistente entre el sustrato y el adherente. Diversos estudios han demostrado que la abrasión de partículas en suspensión con alúmina es un protocolo esencial para lograr una unión a largo plazo. (Kang, et al., 2023) (Lankes, et al., 2022) (Strasser, et al., 2018) (Dikicier, S., Korkmaz, C., & Atay, A. 2022) (Reymus, et al., 2019). Los valores bajos que se observaron en ENA pueden deberse a la composición química inherente del material (Cekic-Nagas, et al., 2016); esto se puede confirmar con el estudio realizado por Sarabia M., et al., en el cual manifiesta que para las cerámicas de vidrio infiltradas con polímeros como Vita Enamic, los resultados óptimos se logran mediante el acondicionamiento con HF, ya que el grabado químico con ácido fluorhídrico disuelve la fase vítrea de la cerámica a través de una reacción con el dióxido de silicio, creando microporosidades en la superficie (Moon, et al., 2015); mientras que en materiales poliméricos reforzados con nanopartículas cerámicas como Cerasmart, la adhesión se puede mejorar mediante la abrasión de partículas en el aire con Al_2O_3 . (Yu, et al., 2019).

A pesar de que los fabricantes de resinas impresas manifiestan que estos tipos de composites híbridos son la mejor opción para prótesis permanentes ya que tienen un alto contenido de carga inorgánica en comparación con otras resinas impresas 3D, la literatura incluye información limitada sobre los efectos de diversos tratamientos de superficie en la rugosidad de los materiales híbridos de resina-cerámica CAD/CAM. En este sentido, VXL manifiesta tener el más alto contenido de carga inorgánica (57-63%) dentro de sus semejantes; sin embargo, los resultados obtenidos con esta resina indicaron que no hubo diferencias significativas en la resistencia de unión con los dos tipos de pretratamientos aplicados, podemos suponer que esto podría deberse al alto porcentaje de carga inorgánica que posee en relación con las demás resinas incluidas en este estudio. No obstante, es importante destacar que la fase de relleno tiene un impacto importante en la mejora de las propiedades mecánicas de los composites dentales a través de factores como la carga de relleno, el tamaño, la forma, la porosidad y la modificación de la superficie de las partículas de relleno para mejorar la unión interfacial entre la matriz y los rellenos (Rodríguez, H. A., Kriven, W. M., & Casanova, H. 2019). Dado que los materiales de impresión 3D se comercializan como líquidos viscosos, se pueden anticipar mayores desafíos para lograr la homogeneización de partículas inorgánicas en toda la resina en comparación con los bloques sólidos utilizados para el fresado (Tanaka, et al., 2024). Al ser una resina que recién está siendo incorporada en el mercado, no existe la suficiente evidencia científica que permita comparar y respaldar los resultados obtenidos en el presente estudio.

Por otro lado, es importante destacar que dentro del tratamiento con AL+S, hubo diferencia entre los valores de los grupos estudiados, siendo los resultados para VSC (18.74 ± 2.2 MPa) y CCN (19.49 ± 2.8 MPa) mayores que los otros grupos, hallazgos que pueden atribuirse a: la composición, tipo de relleno y tamaño de partícula, ya que los dos son un material híbrido con

relleno cerámico, cuentan con una proporción del 30 al 50 % de cargas inorgánicas y el tamaño de partícula es de 0.7 μm , todas estas propiedades favorecen a que con el pretratamiento de AL+S la resistencia de unión aumente.

La capacidad de adhesión de los materiales híbridos CAD/CAM impresos en 3D puede verse influenciada por los tratamientos superficiales aplicados previo a la cementación, presentando diferencias notables respecto a los materiales fresados, por lo que es de importancia clínica tener un conocimiento avanzado sobre el material restaurador a partir del cual se produce la restauración indirecta, para promover una unión fuerte, ya que la estrategia de acondicionamiento de la superficie varía según la composición química del material restaurador utilizado, es decir, en un material de impresión 3D que se caracteriza por un mayor contenido orgánico y la posible presencia de monómeros residuales posteriores al proceso de impresión y curado, la resistencia de unión puede ser más pronunciada en comparación con los materiales fresados (Chen, et al., 2024).

En el estudio de Mao Z. y col. en el que realizaron pruebas de microcizallamiento para determinar la resistencia de unión de tres resinas impresas (VarseoSmile Crown plus, Vita Enamic y Grandio blocs) basándose en dos propiedades: rugosidad y energía superficial encontraron que el grabado con ácido fluorhídrico dio como resultado los valores más altos en la energía superficial ya que ésta es una propiedad fundamental que se ve influenciada por la composición química del material en lugar de la rugosidad. Sin embargo, en el presente estudio el grabado con ácido fluorhídrico no es tan efectiva como el arenado para lograr una mejor rugosidad y por ende una mejor resistencia adhesiva en los materiales híbridos. Kilinch, y col. en su estudio demuestra que el pretratamiento con ácido fluorhídrico puede lograr una mejor

resistencia de unión en vitrocerámicas que en materiales híbridos, por lo cual con este enunciado se puede fundamentar los resultados obtenidos en el presente estudio.

Los resultados obtenidos en este estudio, aunque prometedores, requieren de una mayor corroboración a través de ensayos clínicos a largo plazo e investigaciones in vitro más exhaustivas, a través de pruebas de resistencia de unión, centrándose en comparar y corroborar diferentes protocolos de pretratamientos en materiales híbridos CAD/CAM impresos en 3D y fresados. La literatura científica actual se vería enriquecida con datos obtenidos de estudios clínicos que evalúen la eficacia y durabilidad de las restauraciones dentales impresas en 3D.

Conclusiones

En este estudio in vitro se pudo obtener las siguientes conclusiones:

1. El pretratamiento micro mecánico demuestra ser más efectivo que el acondicionamiento químico en términos de resistencia de unión en casi todos los materiales híbridos CAD/CAM evaluados.
2. La aplicación de arenado con Al_2O_3 y el uso de silano demostraron ser apropiados tanto para materiales fresables como para imprimibles, mientras que el grabado con ácido fluorhídrico no es recomendable para todas las cerámicas híbridas CAD/CAM.

Referencias

- Mayer, J., Stawarczyk, B., Vogt, K., Hickel, R., Edelhoff, D., & Reymus, M. (2021). Influence of cleaning methods after 3D printing on two-body wear and fracture load of resin-based temporary crown and bridge material. *Clinical Oral Investigations*, 25(10), 5987–5996. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03905-9>
- Alshamrani, A., Alhotan, A., Kelly, E., & Ellakwa, A. (2023). Mechanical and Biocompatibility Properties of 3D-Printed Dental Resin Reinforced with Glass Silica and Zirconia Nanoparticles: In Vitro Study. *Polymers*, 15(11), 2523. <https://doi.org/10.3390/polym15112523>
- Alageel, O., Alhijji, S., Alsadon, O., Alsarani, M., Gomawi, A. A., & Alhotan, A. (2023). Trueness, Flexural Strength, and Surface Properties of Various Three-Dimensional (3D) Printed Interim Restorative Materials after Accelerated Aging. *Polymers*, 15(14), 3040. <https://doi.org/10.3390/polym15143040>
- Donmez, M. B., Çakmak, G., Yılmaz, D., Schimmel, M., Abou-Ayash, S., Yılmaz, B., & Peutzfeldt, A. (2023). Bond strength of additively manufactured composite resins to dentin and titanium when bonded with dual-polymerizing resin cements. *Journal of Prosthetic Dentistry*. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.04.003>
- Yıldırım, M., Aykent, F., & Özdoğan, M. S. (2024). Comparison of fracture strength, surface hardness, and color stain of conventionally fabricated, 3D printed, and CAD-CAM milled interim prosthodontic materials after thermocycling. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 16(2), 115. <https://doi.org/10.4047/jap.2024.16.2.115>

Kessler, A., Hickel, R., & Reymus, M. (2019). 3D Printing in Dentistry—State of the Art. *Operative Dentistry*, 45(1), 30–40. <https://doi.org/10.2341/18-229-1>

Prause E, Hey J, Beuer F, Schmidt F (2022) Wear resistance of 3D-printed materials: a systematic review. *Dentistry Rev* 2(2):100051

Paradowska-Stolarz, A., Wieckiewicz, M., Kozakiewicz, M., & Jurczyszyn, K. (2023). Mechanical Properties, Fractal Dimension, and Texture Analysis of Selected 3D-Printed Resins Used in Dentistry That Underwent the Compression Test. *Polymers*, 15(7), 1772. <https://doi.org/10.3390/polym15071772>

Schweiger, J., Edelhoff, D., & Güth, J. (2021b). 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing. *Journal of Clinical Medicine*, 10(9), 2010. <https://doi.org/10.3390/jcm10092010>

Grzebieluch, W., Kowalewski, P., Grygier, D., Rutkowska-Gorczyca, M., Kozakiewicz, M., & Jurczyszyn, K. (2021). Printable and Machinable Dental Restorative Composites for CAD/CAM Application—Comparison of Mechanical Properties, Fractographic, Texture and Fractal Dimension Analysis. *Materials*, 14(17), 4919. <https://doi.org/10.3390/ma14174919>

Mangoush E, Lassila L, Vallittu PK, Garoushi S (2021) Shear-bond strength and optical properties of short fiber-reinforced CAD/CAM composite blocks. *Eur J Oral Sci* 129(5):e12815 [10.1111/eos.12815](https://doi.org/10.1111/eos.12815)

- Suksuphan, P., Krajangta, N., Didron, P. P., Wasanapiarnpong, T., & Rakmanee, T. (2023). Marginal adaptation and fracture resistance of milled and 3D-printed CAD/CAM hybrid dental crown materials with various occlusal thicknesses. *Journal of Prosthodontic Research*. https://doi.org/10.2186/jpr.jpr_d_23_00089
- Tian, Y., Chen, C., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., Lu, X., Shi, H., Lee, E., & Jiang, H. B. (2021). A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*, 2021, 1–19. <https://doi.org/10.1155/2021/9950131>
- Haddadi, Y., Ranjkesh, B., Isidor, F., & Bahrami, G. (2021). Marginal and internal fit of crowns based on additive or subtractive manufacturing. *Biomaterial Investigations in Dentistry*, 8(1), 87–91. <https://doi.org/10.1080/26415275.2021.1938576>
- Skrzek, K., & Hetmanczyk, M. P. (2021). FABRICATION CYCLES COMPARISON OF ASSEMBLIES AND MONOLITHIC PARTS MADE BY 3D PRINTING METHOD. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 13(3), 158–163. <https://doi.org/10.54684/ijmmt.2021.13.3.158>
- Cardoso, B. S., Da Cruz, M. B., Marques, J. F., Roque, J. C., Martins, J. P., Malheiro, R. C., & Da Mata, A. D. (2024). Cellular responses to 3D printed dental resins produced using a manufacturer recommended printer versus a third party printer. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 16(2), 126. <https://doi.org/10.4047/jap.2024.16.2.126>
- Jeong, M., Radomski, K., Lopez, D., Liu, J. T., Lee, J. D., & Lee, S. J. (2023). Materials and Applications of 3D Printing Technology in Dentistry: An Overview. *Dentistry Journal*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.3390/dj12010001>

- Karaođlanođlu, S., Aydın, N., Oktay, E., & Ersöz, B. (2023). Comparison of the surface properties of 3D-printed permanent restorative resins and resin-based CAD/CAM blocks. *Operative Dentistry*, 48(5), 588–598. <https://doi.org/10.2341/23-006-1>
- Spitznagel, F. A., Horvath, S. D., Guess, P. C., & Blatz, M. B. (2014). Resin Bond to Indirect Composite and New Ceramic/Polymer Materials: A Review of the Literature. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 26(6), 382–393. <https://doi.org/10.1111/jerd.12100>
- Kang, Y., Kim, H., Lee, J., Park, Y., & Kim, J. (2023). Effect of airborne particle abrasion treatment of two types of 3D-printing resin materials for permanent restoration materials on flexural strength. *Dental Materials*, 39(7), 648–658. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.05.007>
- Lankes, V., Reymus, M., Liebermann, A., & Stawarczyk, B. (2022). Bond strength between temporary 3D printable resin and conventional resin composite: influence of cleaning methods and air-abrasion parameters. *Clinical Oral Investigations*, 27(1), 31–43. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04800-7>
- Strasser, T., Preis, V., Behr, M., & Rosentritt, M. (2018). Roughness, surface energy, and superficial damages of CAD/CAM materials after surface treatment. *Clinical Oral Investigations*, 22(8), 2787–2797. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2365-6>
- Dikicier, S., Korkmaz, C., & Atay, A. (2022). Surface roughness and characteristics of CAD/CAM zirconia and glass ceramics after combined treatment procedures. *BMC Oral Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02389-7>

- Reymus, M., Roos, M., Eichberger, M., Edelhoff, D., Hickel, R., & Stawarczyk, B. (2019). Bonding to new CAD/CAM resin composites: influence of air abrasion and conditioning agents as pretreatment strategy. *Clinical oral investigations*, 23(2), 529–538. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2461-7>
- Cekic-Nagas, I., Ergun, G., Egilmez, F., Vallittu, P. K., & Lassila, L. V. J. (2016). Micro-shear bond strength of different resin cements to ceramic/glass-polymer CAD-CAM block materials. *Journal of Prosthodontic Research*, 60(4), 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2016.02.003>
- Saravia-Rojas, M. Á., Huanambal-Tiravanti, V. A., Geng-Vivanco, R., De Carvalho Panzeri Pires-De-Souza, F., & Balarezo-Razzeto, J. A. (2024). Different surface treatments on recently introduced CAD-CAM resin-modified ceramics: Implications on bond strength. *Journal of Prosthetic Dentistry*. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.05.032>
- Moon, J., Kim, S., Lee, J., Han, J., Yeo, I., & Ha, S. (2015). Effects of airborne-particle abrasion protocol choice on the surface characteristics of monolithic zirconia materials and the shear bond strength of resin cement. *Ceramics International*, 42(1), 1552–1562. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.09.104>
- Yu, H., Özcan, M., Yoshida, K., Cheng, H., & Sawase, T. (2019). Bonding to industrial indirect composite blocks: A systematic review and meta-analysis. *Dental Materials*, 36(1), 119–134. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.11.002>

- Rodríguez, H. A., Kriven, W. M., & Casanova, H. (2019). Development of mechanical properties in dental resin composite: Effect of filler size and filler aggregation state. *Materials Science and Engineering C*, 101, 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.03.090>
- Tanaka, L. E. B., Da Silva Rodrigues, C., Grangeiro, M. T. V., Campos, T. M. B., & De Melo, R. M. (2024). Characterization of 3D printed composite for final dental restorations. *Clinical Oral Investigations*, 28(11). <https://doi.org/10.1007/s00784-024-06003-8>
- Chen CL, Chi CW, Lee CY, Tsai YL, Kasimayan U, K POM, Lin HP, Chiang YC (2024) Effects of surface treatments of bioactive tricalcium silicate-based restorative material on the bond strength to resin composite. *Dent Mater* 40(1):102–110
[10.1016/j.dental.2023.10.027](https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.10.027)
- Mao, Z., Schmidt, F., Beuer, F., Yassine, J., Hey, J., & Prause, E. (2024). Effect of surface treatment strategies on bond strength of additively and subtractively manufactured hybrid materials for permanent crowns. *Clinical Oral Investigations*, 28(7).
<https://doi.org/10.1007/s00784-024-05767-3>
- Kilinc H, Sanal FA, Turgut S. Shear bond strengths of aged and non-aged CAD/CAM materials after different surface treatments. *J Adv Prosthodont*. 2020 Oct;12(5):273-282. doi: 10.4047/jap.2020.12.5.273. Epub 2020 Oct 26. PMID: 33149848; PMCID: PMC7604239.