

### [Resumen]

El objeto del presente estudio era investigar cómo los tratamientos de superficie del dióxido de zirconio habituales en laboratorios protésicos influyen en la unión a cuatro cerámicas de recubrimiento. En el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath se determinaron las mayores resistencias de unión para todas las cerámicas cuando la superficie del dióxido de zirconio no ha sido sometida a tratamiento antes de la cocción de la cerámica.

### Palabras clave

Dióxido de zirconio. Tratamiento de la superficie. Cerámica de recubrimiento. Resistencia de la unión. Ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath.

(Quintessenz Zahntech.  
2011;37(3):342-56)



## Influencia de métodos mecánicos de tratamiento de la superficie sobre la unión de Y-TZP a cuatro cerámicas de recubrimiento

**Lothar Wehnert, Susanne Slotosch y Wolfgang B. Freesmeyer (†)**

### Introducción

El deseo de los pacientes de recibir una restauración dental de alta calidad estética y al mismo tiempo biocompatible otorga desde hace muchos años una importancia creciente a los sistemas de cerámica sin metal<sup>41</sup>. En este contexto, especialmente el dióxido de zirconio parcialmente estabilizado con óxido de itrio (Y-TZP) ofrece la resistencia suficiente para la confección de reposiciones dentales fijas. Revisten gran importancia sobre todo la elevada tenacidad a la rotura, así como el módulo de elasticidad favorable del material<sup>22,23,27</sup>. Si bien este material tiene, a diferencia de los metales, un color similar al de los dientes, debido a su elevada densidad, la cual determina entre otras cosas las buenas propiedades mecánicas del Y-TZP, no alcanza la translucidez propia de los dientes naturales. El Y-TZP se muestra opaco y de color blanco níveo. En consecuencia, para la confección de una reposición dental estéticamente satisfactoria, el Y-TZP debe recubrirse, al igual que las aleaciones de cocción dentales, con una cerámica oxídica convencional aplicada mediante el método de barbotina<sup>12,50,57</sup>. Un aspecto hasta ahora apenas considerado

es la baja transparencia del Y-TZP a los rayos X. De este modo, en la radiografía se reproducen claramente sobre todo los márgenes de las coronas de Y-TZP, los cuales por lo general son finos en la preparación en hombro o en chamfer, posibilitando así una buena evaluación del ajuste marginal de la corona<sup>36</sup>.

Los fracasos clínicos de la reposición dental fija de Y-TZP causados por el desprendimiento de la cerámica de recubrimiento, lo que en la bibliografía especializada se denomina chipping, son contabilizados por Sailer et al en un 13% tras un periodo de utilización de tres años y del 15,2% tras un periodo de utilización de cinco años<sup>46</sup>. En un estudio posterior de los autores se observó una tasa del 25% de chippings, así como un 11,4% de defectos de la cerámica extendidos<sup>45</sup>. Tinschert et al indican, tras un periodo de observación de cinco años, desconchamientos de la cerámica de recubrimiento del 6,2%<sup>58</sup>. En los estudios de Edelhoff et al y Rödiger et al, las tasas de defectos en la cerámica de recubrimiento se sitúan en el 9,52% al cabo de un periodo de observación de tres años y de un 13% tras un periodo de observación de cuatro años<sup>17,44</sup>. Zembic et al determinaron en sus estudios un 10% de chipping al cabo de dos años, así como un 5% de chipping al cabo de tres años en otro grupo de pacientes<sup>63</sup>. En un estudio de Raigrodski et al se observó al cabo de 31 meses un porcentaje de cerámica de recubrimiento desconchada del 25%<sup>42</sup>. Nothdurft et al indican algunos desconchamientos, sin datos exactos sobre su cantidad y porcentaje, tras un periodo de utilización de cinco años<sup>39</sup>. En un estudio clínico de Vult von Steyern et al, la tasa de chipping se situó en el 15%<sup>60</sup>. Si bien a éste se contraponen los resultados de Molin y Karlsson y de Sturzenegger et al, en cuyos estudios al cabo de tres y cinco años no apareció ningún chipping<sup>38,51</sup>, se aprecia una dificultad en cuanto a la longevidad del recubrimiento cerámico del Y-TZP. Una resistencia de la unión suficiente entre el Y-TZP o el material de la estructura y la cerámica de recubrimiento se considera un factor decisivo para la seguridad a largo plazo en la aplicación clínica<sup>18,43,61</sup>. La resistencia de la unión viene determinada por diversos factores. En este contexto desempeñan un papel importante la unión química y el anclaje mecánico entre el material de la estructura y la cerámica de recubrimiento. La resistencia de la unión de la cerámica de recubrimiento sobre el Y-TZP se ve influida asimismo por el tipo y la concentración de defectos en la zona de contacto, la humectabilidad del Y-TZP con la cerámica de recubrimiento y la magnitud de las fuerzas de presión dentro de la cerámica de recubrimiento, generadas mediante la armonización de la expansión térmica (coeficiente de expansión térmica, CET) del Y-TZP y de la cerámica de recubrimiento<sup>12,18,54,61</sup>.

Son escasos los estudios que en el pasado han investigado la influencia de diversos tratamientos de la superficie mecánicos sobre la resistencia de la unión entre el Y-TZP y la cerámica de recubrimiento, mientras que todavía no está completamente aclarado el mecanismo de unión entre ambos materiales<sup>1,2,34</sup>.

Del ámbito de la cerámica de recubrimiento se conoce el chorreo de la superficie del material de la estructura con  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Esta medida está considerada como el estándar para preparar las superficies metálicas para el alojamiento del recubrimiento cerámico<sup>55</sup>. Mediante el proceso de chorreo no sólo se limpia el material de la estructura, sino que como consecuencia de la rugosificación se obtiene una superficie retentiva fácilmente humectable con zonas retentivas<sup>55,56</sup>. En estudios de Freesmeyer et al se demostró un incremento de la resistencia de la unión del metal y la cerámica mediante chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$ <sup>20,21</sup>.

Planteamiento  
del problema

No está claro el beneficio de un chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de la superficie de Y-TZP antes de la cocción de la cerámica. En consecuencia, los fabricantes de cerámica emiten distintas recomendaciones a este respecto o no ofrecen indicaciones para la preparación del Y-TZP<sup>7,8,10,61</sup>. Debido a las propiedades materiales del Y-TZP, las piezas de trabajo protésicas deben confeccionarse en el método CAD/CAM. En este procedimiento, tras la captura digital de la situación de tratamiento se diseñan las piezas de trabajo en un PC (CAD) y se fresan a partir de un producto semiacabado macizo (CAM). Para ello, durante el proceso de fresado se utilizan instrumentos rotatorios diamantados, refrigerados mediante una emulsión de fresado a base de agua. En este proceso se altera necesariamente la superficie del Y-TZP, lo cual va asociado a una alteración básicamente indeseada de las propiedades mecánicas del material. Este aspecto se aborda con mayor detalle en el capítulo «Discusión». De ello se deriva la demanda de un método apropiado para el fresado de este material durante la mecanización posterior a realizar siempre en laboratorios dentales, donde habitualmente se trabaja con fresas diamantadas rotatorias. Según los resultados de Kosmac et al, el fresado con diamantes de la superficie del Y-TZP provoca una menor alteración de la superficie si se trabaja con refrigeración por agua. Así pues, este procedimiento puede considerarse como el método de elección para la mecanización posterior en los laboratorios dentales<sup>9,23,29,30,33-35,49</sup>.

El objeto del presente estudio es investigar cómo distintos tratamientos mecánicos de la superficie del Y-TZP habituales en los laboratorios dentales repercuten en la resistencia de la unión a cuatro cerámicas de recubrimiento. Para la determinación de la resistencia de la unión se lleva a cabo, sobre la base de un estudio previo, el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath conforme a la EN ISO 9693. Además se estudian mediante el microscopio electrónico de barrido (MEB) las alteraciones morfológicas de la superficie del Y-TZP causadas por los distintos tratamientos. La influencia de los métodos de tratamiento sobre la rugosidad de la superficie del Y-TZP se determina perfilométricamente.

## Material y método Materiales

Las tablas 1a y 1b muestran los materiales utilizados para la confección del cuerpo básico en forma de pequeña placa (material de estructura) para el ensayo de Schwickerath y para la estratificación cerámica (material de recubrimiento).

Las cerámicas de recubrimiento fueron facilitadas por los fabricantes en su envase original junto con los líquidos de mezcla correspondientes. La confección de las placas de Y-TZP tuvo lugar siguiendo el procedimiento descrito en un estudio y publicación previos<sup>61</sup>.

Antes de la cocción de las cerámicas de recubrimiento se procedió al tratamiento mecánico de la superficie de los cuerpos de ensayo mediante chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o mediante tallado con fresas de diamante con distintos tamaños de grano. Como control se utilizan cuerpos de ensayo en los cuales se prescindió del tratamiento de la superficie.

## Tratamiento mecánico

Para el chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se contaba con el aparato de chorreo Basic Quattro (Renfert, Hilzingen, Alemania). Con un tamaño de grano del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 110  $\mu\text{m}$ , se chorreó durante 5 s con una presión de chorreo de 2 bar y una distancia de 5 cm entre la punta de la boquilla y la superficie de Y-TZP. A continuación se procedió a la limpieza de los cuerpos de ensayo empleando un aparato de chorro de vapor (IP Clean, IP Dental Division, Haimhausen, Alemania) y etanol.

Material de la estructura	Empresa	Número de lote
Y-TZP	Tosoh Corp., Tokio, Japón	ZR 161007-2 y -3

**Tablas 1a y 1b.** Los materiales cerámicos utilizados

Material de recubrimiento	Empresa	Número de lote
GC Initial Zr	GC Europe N.V., Lovaina, Bélgica	Zr FM-1 8750001 Zr DA-2 875712
Lava Ceram	3M Espe, Seefeld, Alemania	MO A3 256115 DA3 291558
Cercon Ceram Kiss	DeguDent Dentsply, Hanau, Alemania	PL A3 41789 DA3 42889
Triceram	Dentaurum, Ispringen, Alemania	FL1 010A DA3 (IT59) 020A

El fresado de los cuerpos de ensayo tuvo lugar bajo refrigeración por agua, con una presión uniforme con una turbina odontológica. Se utilizaron fresas diamantadas cilíndricas de la firma Rotodent (Rotodent, Rotierende Dentalinstrumente GmbH, Overath, Alemania). El tamaño del grano de diamante de la fresa para la mecanización basta sin codificación cromática es de hasta 126  $\mu\text{m}$  según la DIN 107. La fresa para la mecanización de precisión incorpora un anillo de color rojo con un tamaño de grano de diamante de 40  $\mu\text{m}$  según la norma DIN<sup>6</sup>. Estos tratamientos se llevaron a cabo manualmente durante 5 s con una presión uniforme conforme a la práctica habitual en laboratorios dentales. Acto seguido se limpiaron nuevamente los cuerpos de ensayo con un aparato de chorro de vapor (IP Clean) y etanol. La superficie de los cuerpos de ensayo no tratados también se limpió con etanol y chorro de vapor antes de la cocción de la cerámica de recubrimiento.

La tabla 2 proporciona una visión de conjunto de la división de las series de ensayo y su denominación en el texto posterior.

La profundidad de rugosidad promedio Ra y la profundidad de rugosidad Rz según la DIN 4768 de las placas de Y-TZP se midieron mediante el aparato de medición de superficies Perthometer S2 V2.05 (Mahr GmbH, Göttingen, Alemania). Para ello se llevan a cabo cinco mediciones en sentido transversal y otras cinco en el sentido longitudinal de la muestra. El valor de profundidad promedio Ra se determina a lo largo de un recorrido de medición definido. Se trata del promedio aritmético de las distancias y de todos los valores del perfil de rugosidad desde la línea central dentro del recorrido de medición 1 (fig. 1). Así pues, Ra es una medida de la lisura de una superficie<sup>4</sup>.

### Estudios perfilométricos

Tratamiento de la superficie	Denominación
Ninguno	No tratada
Chorro con $\text{Al}_2\text{O}_3$ de 120 $\mu\text{m}$	Chorreada
Tallado con fresas diamantadas rotatorias, tamaño de grano 10-126 $\mu\text{m}$	Diamante grueso
Tallado con fresas diamantadas rotatorias, tamaño de grano 40 $\mu\text{m}$	Diamante fino

**Tabla 2.** División y denominación de las series de ensayo

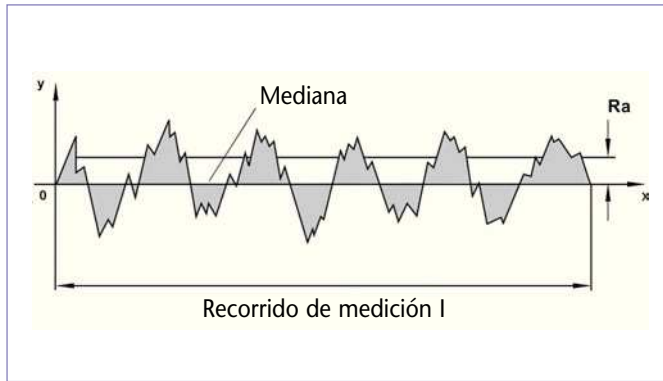


Fig. 1. El valor de profundidad promedio  $R_a$ .

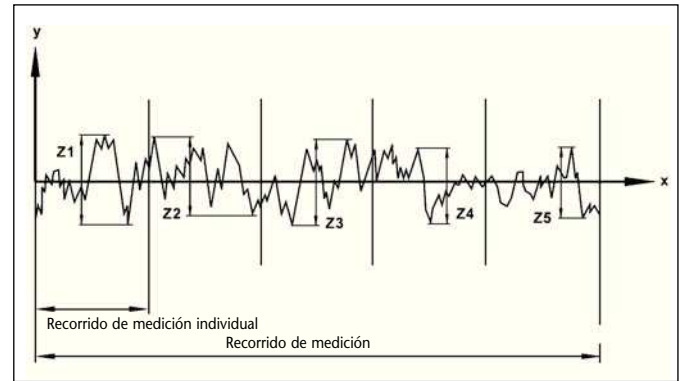


Fig. 2. La profundidad de rugosidad promediada  $R_z$ .

La profundidad de rugosidad promediada  $R_z$  se mide a lo largo de un recorrido de medición definido. Este recorrido de medición está dividido en recorridos de medición individuales.  $R_z$  es el valor promedio de las profundidades de rugosidad individuales ( $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$ ,  $Z_5$ ) de los cinco recorridos de medición individuales sucesivos (fig. 2). En consecuencia, el valor  $R_z$  se corresponde con la mayor altura promedio del perfil<sup>4</sup>.

## *Representación de la superficie de recubrimiento en el microscopio electrónico de barrido*

Las superficies de Y-TZP sometidas a distintos tratamientos y la superficie de Y-TZP no tratada se capturaron con 500 aumentos mediante el microscopio electrónico de barrido (REM) S-4700 (Wieland Dental + Technik GmbH & Co. KG, Pforzheim, Alemania).

## *Cocción de la cerámica de recubrimiento*

Mediante un calibre con las dimensiones requeridas 3 mm x 8 mm x 1 mm, la cocción de la cerámica de recubrimiento tuvo lugar exactamente en el centro de las placas de estructura (0,5 mm x 3 mm x 25 mm). Para ello se utilizó un horno de inyección de cerámica Cergo press (DeguDent GmbH, Hanau, Alemania). Se llevaron a cabo una cocción de liner, una primera y segunda cocciones de dentina y una cocción de glaseado siguiendo las indicaciones del fabricante. Para ello, antes de la cocción de glaseado se midieron mediante un pie de rey las dimensiones de la cerámica cocida, y en caso necesario se corrigieron mediante un tallado cuidadoso. A fin de llevar a cabo el mismo número de procesos de cocción en todas las series de estudio, se renunció a la segunda cocción de liner prevista por los fabricantes para Cercon® Ceram Kiss y para Triceram®. Se parte del supuesto de que este procedimiento no influye en los resultados del ensayo de resistencia de la unión de las cerámicas en cuestión. La figura 3 muestra cuerpos de ensayo para el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath.

## *Realización del ensayo de unión*

El ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath se llevó a cabo en una máquina de ensayo Zwick Z020 (Zwick GmbH & Co., Ulm, Alemania). En la figura 4 se observa el posicionamiento del cuerpo de ensayo. La aleta de compresión avanza a una velocidad de 1 mm por minuto. En el proceso, el cuerpo de ensayo experimenta una flexión, y en la zona de contacto entre el Y-TZP y la cerámica de recubrimiento se genera una fuerza de cizallamiento creciente. En caso de que esta fuerza de cizallamiento





Fig. 3. Los cuerpos de ensayo para el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath.

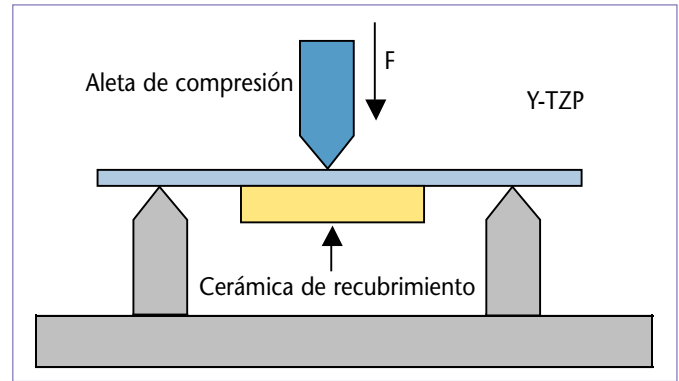


Fig. 4. Realización del ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath.

to deshaga la unión entre el Y-TZP y la cerámica de recubrimiento, la fuerza necesaria para la flexión del cuerpo de ensayo disminuye bruscamente. La fuerza necesaria para desprender la cerámica de recubrimiento se denomina fuerza de rotura y se mide en newtons. Una disminución de la fuerza del 15%, medida en el PC conectado (Programm TestXpert 9.0) y guardada junto a la fuerza de rotura, se adoptó como criterio para el desprendimiento de la cerámica.

La resistencia de la unión entre el Y-TZP y la cerámica de recubrimiento resulta de la multiplicación de la fuerza de rotura por un factor  $k$ . En el cálculo del factor  $k$  se incluye el grosor de la placa de Y-TZP, la cual se midió empleando un palpador mecánico (Kroeplin Längen-messgerate GmbH, Schluchtern, Alemania) y se redondeó al 1/100 de milímetro más próximo. En el cálculo del factor  $k$  se incluye asimismo el módulo  $E$  del Y-TZP de 220 GPa<sup>5,14</sup>. Tal como recomiendan Schwarz et al, se tuvo en cuenta la anchura real del cuerpo de ensayo, medida mediante un pie de rey, aplicando el correspondiente cálculo corrector<sup>47</sup>. El cálculo de la resistencia de la unión sobre la base de la fuerza de rotura y del multiplicador  $k$ , así como el cálculo corrector relativo a la anchura real de los cuerpos de ensayo, se llevaron a cabo mediante el programa de estadística SPSS 11.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, EE. UU.) programado conforme al diagrama de flujo según la ISO 9693<sup>5</sup>. Los demás cálculos estadísticos se realizaron también utilizando el programa SPSS 11.0. Los resultados de los estudios se representan gráficamente como diagramas de cajas. En las tablas correspondientes se indica la estadística descriptiva como mediana (medida de la tendencia central, «promedio») del valor de medición mayor y menor, así como la desviación estándar. Con un nivel de significación  $\alpha$  de 0,05 se observó en el ensayo de Shapiro-Wilk que los resultados de algunas series de ensayos no presentan una distribución normal<sup>48</sup>. En consecuencia, el test U de Mann-Whitney sirvió para comparar los resultados de las distintas series de ensayos<sup>37</sup>.

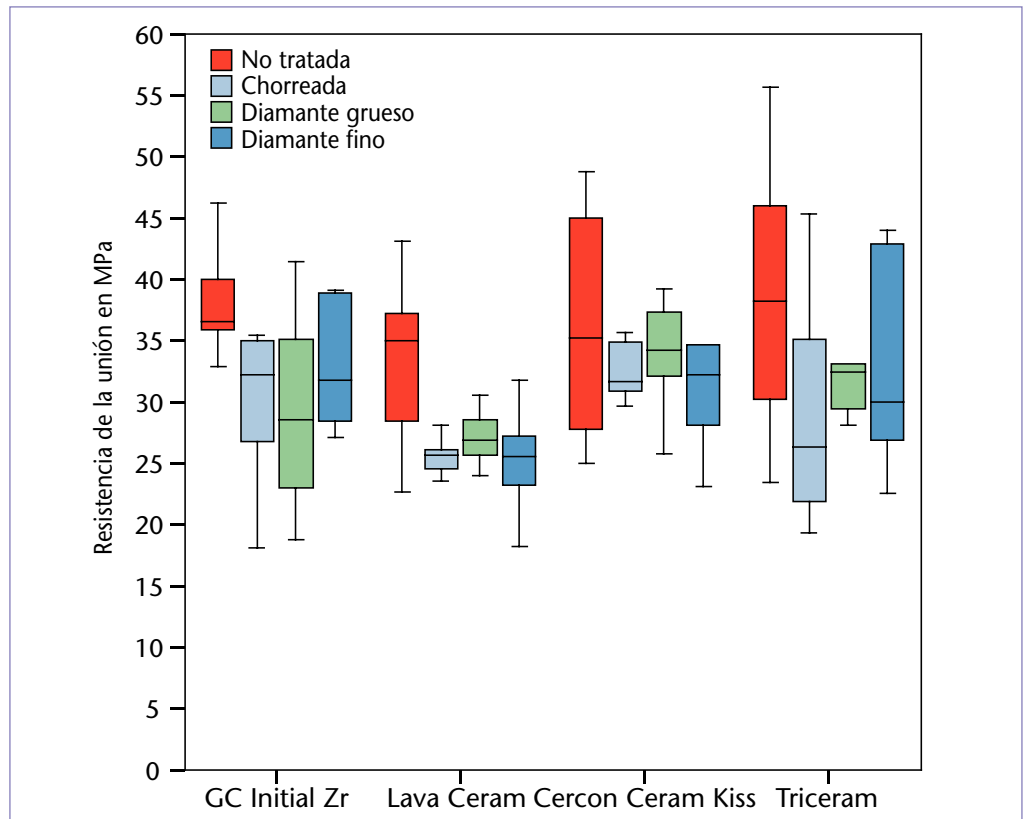


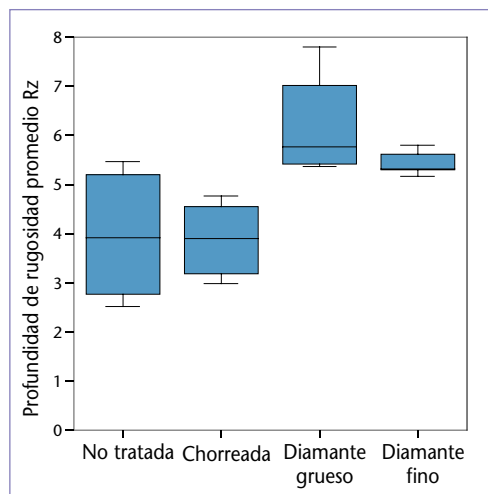
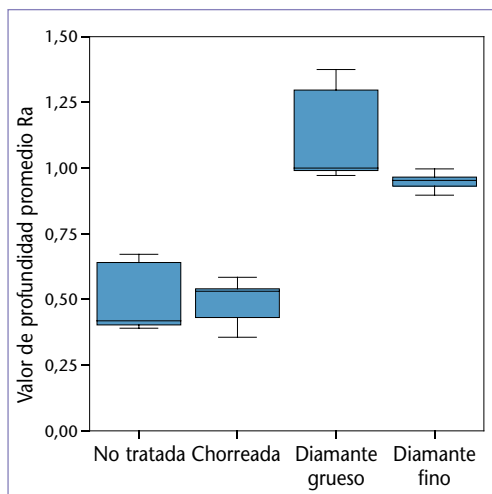
Fig. 5. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión y el cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath, diagramas de cajas.

**Tabla 3.** Resultados del ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath, estadística descriptiva

Cerámica	Tratamiento de la superficie	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
GC Initial	No tratada	36,5	4,001	32,8	46,2
	Chorreada	32,2	6,598	18,0	35,4
	Diamante grueso	28,5	8,132	18,8	41,3
	Diamante fino	31,8	5,184	27,0	39,1
Lava Ceram	No tratada	35,0	7,245	22,7	43,1
	Chorreada	25,7	2,060	23,5	30,1
	Diamante grueso	26,8	2,269	24,0	30,5
	Diamante fino	25,5	5,004	18,2	34,6
Cercon Ceram Kiss	No tratada	35,1	8,629	25,0	48,7
	Chorreada	31,6	2,282	29,6	35,6
	Diamante grueso	34,2	4,454	25,7	39,2
	Diamante fino	32,2	8,222	23,1	48,5
Triceram	No tratada	38,1	10,528	23,4	55,6
	Chorreada	26,3	12,623	19,3	58,1
	Diamante grueso	32,2	6,637	28,0	47,6
	Diamante fino	30,0	8,236	22,6	43,9

Cerámica	Tratamiento de la superficie	Result. del test U de Man-Whitney, valor p
GC Initial	No tratada ↔ Chorreada	0,001 significativo
	No tratada ↔ Diamante grueso	0,028 significativo
	No tratada ↔ Diamante fino	0,113 no significativo
Lava Ceram	No tratada ↔ Chorreada	0,040 significativo
	No tratada ↔ Diamante grueso	0,079 no significativo
	No tratada ↔ Diamante fino	0,031 significativo
Cercon Ceram	No tratada ↔ Chorreada	0,356 no significativo
	No tratada ↔ Diamante grueso	0,720 no significativo
	No tratada ↔ Diamante fino	0,481 no significativo
Triceram	No tratada ↔ Chorreada	0,075 no significativo
	No tratada ↔ Diamante grueso	0,218 no significativo
	No tratada ↔ Diamante fino	0,123 no significativo

**Tabla 4.** Resultados del ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath, comparación, test U de Mann-Whitney



**Fig. 6.** El valor de profundidad promedio Ra de las series de estudio, diagramas de cajas.

**Fig. 7.** La profundidad de rugosidad promedio Rz de las series de estudio, diagramas de cajas.

Serie de estudio	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
No tratada	0,420	0,1388	0,391	0,672
Chorreada	0,531	0,0926	0,358	0,586
Diamante grueso	1,001	0,1936	0,974	1,1377
Diamante fino	0,953	0,0372	0,899	0,998

**Tabla 5.** Los resultados del valor de rugosidad promedio Ra, estadística descriptiva.

Tratamiento de la superficie	Resultado del test U de Man-Whitney, valor p
No tratada ↔ Chorreada	0,917, no significativo
No tratada ↔ Diamante grueso	0,08, significativo
No tratada ↔ Diamante fino	0,09, significativo

**Tabla 6.** Los resultados del valor de rugosidad promedio Ra, comparación, test U de Man-Whitney

Serie de estudio	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
No tratada	3,920	3,920	1,352	2,520
Chorreada	3,890	3,890	0,797	2,980
Diamante grueso	5,760	5,760	1,086	5,360
Diamante fino	5,320	5,320	0,256	5,170

**Tabla 7.** Los resultados de la profundidad de rugosidad promedio Rz, estadística descriptiva



**Tabla 8.** Los resultados de la profundidad de rugosidad promedio Rz, comparación, test U de Mann-Whitney, estadística descriptiva

Tratamiento de la superficie	Resultado del test U de Man-Whitney, valor p
No tratada ↔ Chorreada	0,917, no significativo
No tratada ↔ Diamante grueso	0,028, significativo
No tratada ↔ Diamante fino	0,076, no significativo

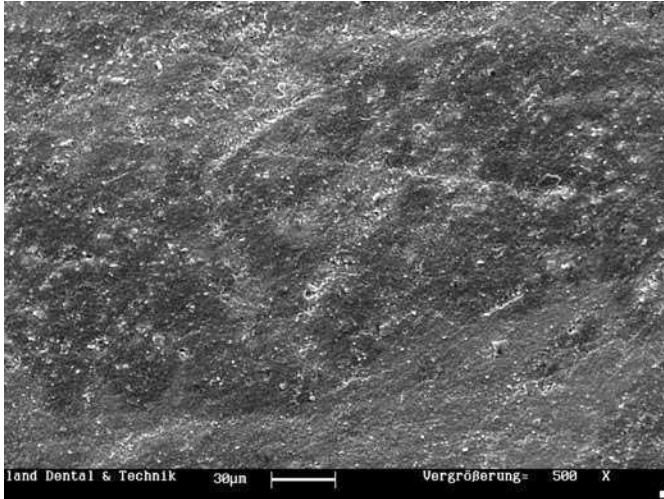


Fig. 8. La superficie de Y-TZP sin tratamiento (serie de control), 500 aumentos.

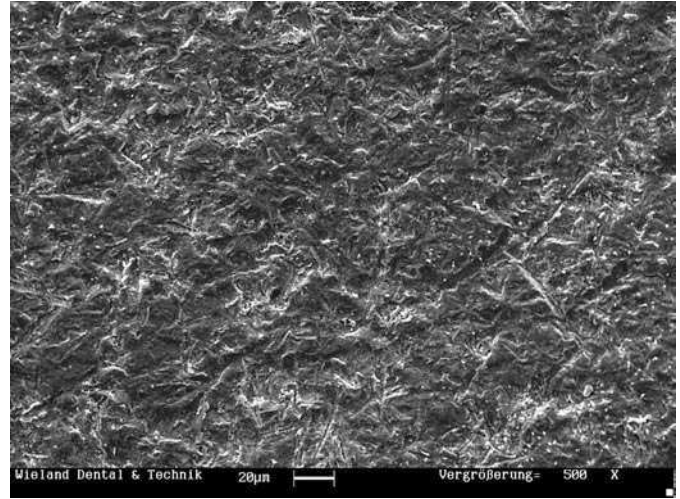


Fig. 9. La superficie de Y-TZP, chorreada con  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 500 aumentos.

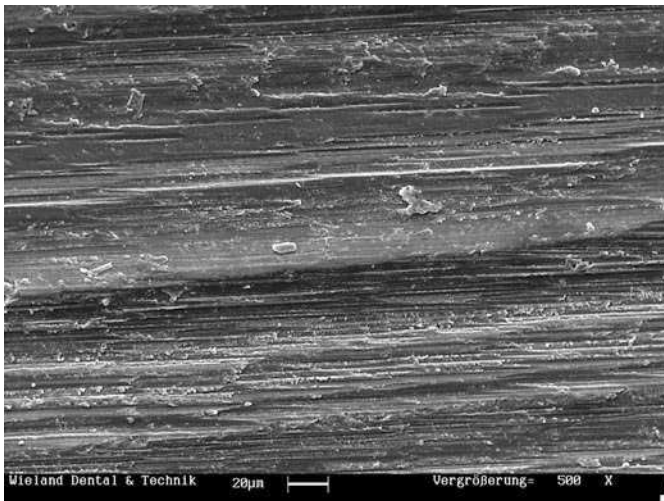


Fig. 10. La superficie de Y-TZP, tallada con diamante grueso, 500 aumentos.

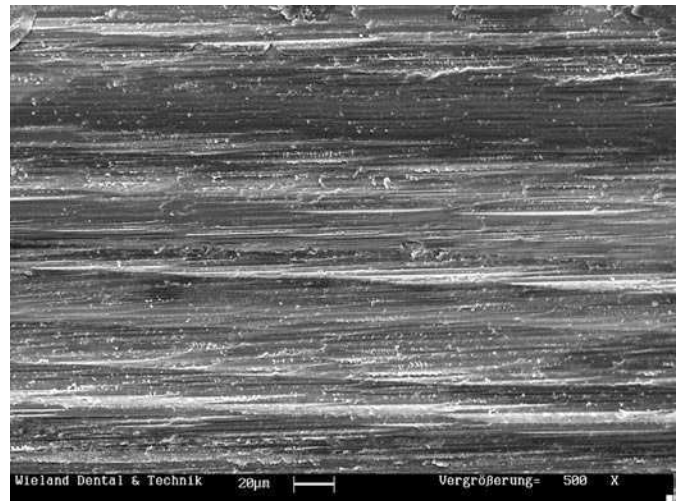


Fig. 11. La superficie de Y-TZP, tallada con diamante fino, 500 aumentos.

### Resultados Ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos

En la figura 5 y en las tablas 3 y 4 se recogen los resultados de la comprobación de la resistencia de la unión con los cálculos estadísticos.

### Mediciones de la rugosidad

Las figuras 6 y 7, así como las tablas 5 a 8, muestran los resultados de las mediciones de la rugosidad con los correspondientes cálculos estadísticos.

Sin tratamiento, en la imagen MEB se muestra una superficie uniforme del Y-TZP. No se aprecian defectos que denotarían una estructura o compactación insuficientes del material (fig. 8).

El chorreo del Y-TZP con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  muestra en la imagen del microscopio electrónico de barrido una estructura reticulada uniforme. Los bordes de rotura denotan una erosión de material. Se insinúan picaduras y microfisuras. Se aprecia tan sólo un ligero incremento de la rugosidad de la superficie del Y-TZP (fig. 9).

Tras el tratamiento de la superficie del Y-TZP mediante mecanización con un diamante grueso se observan bajo el microscopio electrónico de barrido estrías profundas de distintas dimensiones en sentido longitudinal. Se aprecian bordes de rotura que denotan una erosión de material (fig. 10).

El tratamiento de la superficie del Y-TZP con un diamante fino revela bajo el microscopio electrónico de barrido estrías claramente visibles de distintas profundidades en sentido longitudinal. En comparación con la superficie del Y-TZP fresada con diamante grueso, las estrías son menos anchas y profundas, y aparecen distribuidas de modo más uniforme. En esta imagen también son visibles bordes de rotura, los cuales denotan una erosión de material (fig. 11).

Pese a que tras el tratamiento mecánico cabría esperar un incremento de la rugosidad de la superficie de Y-TZP, el chorreo con  $110\text{ }\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$  no ha alterado significativamente la rugosidad de la superficie del Y-TZP. La profundidad del perfil y el valor de rugosidad promedio  $R_a$  aumentaron ligeramente desde  $0,420$  hasta  $0,531\text{ }\mu\text{m}$ . En estudios relevantes de Curtis et al también se ha medido un ligero incremento, sin significación estadística, del parámetro  $R_a$  entre el Y-TZP no tratado y el chorreado con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de distinto tamaño de grano<sup>16</sup>. Fokas-Tsentzeratos ha medido una ligera reducción no significativa estadísticamente de la rugosidad  $R_a$  mediante el chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de  $50\text{ }\mu\text{m}$ <sup>19</sup>.

La profundidad de rugosidad promedio  $R_z$  del presente estudio se reduce ligeramente desde  $3,92$  hasta  $3,89\text{ }\mu\text{m}$ . Esto es equiparable a los resultados de Boiko. Para la profundidad de rugosidad promedio  $R_z$  se determinó aquí también una ligera disminución tras el chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de  $110\text{ }\mu\text{m}$ <sup>13</sup>.

Si bien la imagen MEB de la superficie de Y-TZP en cuestión presenta una alteración de la estructura, tampoco aquí se aprecian incrementos llamativos de la rugosidad. También otros autores describen alteraciones del mismo tipo de la superficie del Y-TZP tras el chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , tales como bordes de rotura o indicios de microfisuras<sup>13,16,18,19,25</sup>.

Del ámbito de la técnica de la metalocerámica de recubrimiento convencional se sabe que el chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  conduce a una rugosidad de las superficies metálicas sensiblemente mayor que en el Y-TZP. La gran dureza del Y-TZP podría influir a este respecto. Con una dureza de Vickers de  $1.200\text{ HV}$ , se sitúa varias veces por encima de la dureza de los metales utilizados en la técnica de metalocerámica de recubrimiento. Cabe partir de la premisa de que, debido a la dureza del Y-TZP, las partículas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no están en disposición de provocar una rugosificación de la superficie<sup>49</sup>.

El tallado de la superficie de Y-TZP con la fresa diamantada ha resultado en un incremento significativo del valor de rugosidad promedio  $R_a$  en comparación con el grupo de control no tratado. Para el tratamiento con diamantes gruesos se determinó una mediana de  $1,001\text{ }\mu\text{m}$  y para el tratamiento con diamantes finos se midió una mediana

*Estudios mediante el microscopio electrónico de barrido*

*Discusión  
Mediciones de la rugosidad*

de 0,953  $\mu\text{m}$ . El fresado con diamante grueso incrementó significativamente la profundidad de rugosidad promedio  $R_z$  hasta 5,760  $\mu\text{m}$ . Las superficies de Y-TZP talladas con diamante grueso también presentan, con un valor de 5,320  $\mu\text{m}$ , una profundidad de rugosidad promedio sensiblemente superior en comparación con la superficie no tratada, si bien la diferencia no reviste significación estadística. Curtis et al también han constatado incrementos del valor de rugosidad promedio  $R_a$  tras el tallado con diamantes finos y gruesos, cuyos tamaños de grano son equiparables a los del estudio precedente, y con refrigeración por agua. En este caso, las diferencias con el diamante grueso fueron significativas, pero con diamante fino no fueron significativas<sup>16</sup>.

En las correspondientes imágenes MEB también se aprecian claramente las consecuencias del tallado de la superficie del Y-TZP con estrías y bordes de rotura. Este tipo de alteraciones son previsibles, teniendo en cuenta la finalidad de erosión del material mediante la mecanización con fresas diamantadas. Son iguales a las imágenes MEB de Y-TZP tallado con fresas diamantadas bajo refrigeración por agua de Curtis et al y Guazzato et al<sup>16,25</sup>. Las superficies de Y-TZP talladas en el sistema DCS y examinadas por Fokas-Tsentzeratos y por Luthardt y Musil también muestran en las imágenes MEB huellas de abrasión y bordes de rotura similares a los encontrados en el presente estudio<sup>19,32,33</sup>.

El considerable incremento de la rugosidad superficial del Y-TZP resultante del tratamiento con fresas diamantadas en comparación con el chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  puede deberse a la dureza Vickers de los diamantes que incorporan las fresas abrasivas, y cuyo valor de 10.000 HV es sensiblemente superior al del Y-TZP. Además, cabe partir del supuesto de que, mediante el proceso de tallado manual, se ejerce una presión considerablemente mayor sobre los granos de diamante que penetran en la superficie del Y-TZP que la generada por la presión de aire de los granos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  durante el chorreo<sup>49</sup>.

## *Mediciones de resistencia de la unión, Y-TZP no tratado*

Llama la atención el hecho de que los respectivos grupos de control sin tratamiento mecánico de la superficie del Y-TZP arrojan los valores de resistencia de la unión más elevados (tabla 3). Las siguientes consideraciones parten de la premisa de que la teoría sobre la formación de la unión entre el metal y la cerámica es extrapolable también a la unión entre la cerámica de recubrimiento y el Y-TZP. En este caso se parte de la base de una unión química por formación de puentes de oxígeno entre el óxido de silicio de la cerámica y los átomos metálicos oxidados en la superficie del metal. Además, tiene lugar una contracción de la cerámica sobre el metal, dado que el valor CET de la cerámica se sitúa algo por debajo del valor CET del metal. Por otra parte, se produce una unión mecánica debido a que la cerámica se ancla a rugosidades o zonas retentivas de la superficie metálica rugosificada por el chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o las rodea<sup>15,59</sup>.

La superficie del Y-TZP sin tratamiento se caracteriza por una rugosidad relativamente reducida, y el cuerpo de ensayo para el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos presenta una superficie plana, a diferencia de las piezas de trabajo protésicas. En este caso, una unión mecánica de la cerámica al Y-TZP debido a la contracción de la cerámica de recubrimiento o al anclaje a rugosidades y zonas retentivas sólo puede tener una participación muy reducida en la adhesión de la cerámica de recubrimiento. Como ya se ha discutido en otros estudios, es de suponer que se forma una unión química entre el Y-TZP y la cerámica de recubrimiento, lo cual explica la resistencia de la unión comparativamente elevada de las cerámicas de recubrimiento sobre el Y-TZP no tratado.

Tholey et al también parten de la premisa de que se produce una unión química de la cerámica de recubrimiento al Y-TZP mediante la unión de los óxidos metálicos del Y-TZP y de la cerámica de recubrimiento. Los autores han constatado una unión excelente a la cerámica de recubrimiento sobre superficies de Y-TZP pulidas a brillo intenso, lo cual ha sido confirmado por estudios de Aboushelib et al y Fischer et al. Esto denota una adhesión que no puede ser sólo mecánica, sino que debe estar apoyada también químicamente, lo cual puede considerarse altamente probable a la vista de las imágenes de la zona de unión del Y-TZP a la cerámica de recubrimiento tomadas mediante microscopio electrónico de barrido de túnel de alta resolución publicadas por Suttors<sup>1,18,53,54,61</sup>.

Mediante el chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no se obtuvo incremento alguno de la rugosidad, como ya se ha discutido anteriormente (tabla 3). Por lo tanto, no cabría esperar un aumento de la resistencia de la unión de la cerámica de recubrimiento debido a un incremento del anclaje mecánico. De todos modos, en consecuencia la resistencia de la unión de las cerámicas de recubrimiento sobre Y-TZP chorreado con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  debería situarse como mínimo al nivel del grupo de control sin tratamiento de la superficie. Sin embargo, en la práctica, los resultados de las series con chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se situaron por debajo de los de las series sin tratamiento de la superficie, alcanzando las diferencias significación estadística en dos de las cerámicas.

En la bibliografía relevante se describe la transformación de la superficie del Y-TZP de la forma tetragonal a la monoclinica como consecuencia del chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . A causa del menor valor CET de la superficie Y-TZP ahora monoclinica, la adhesión de una cerámica de recubrimiento cocida se ve considerablemente reducida por tensiones en la zona de contacto<sup>16,18,25,30,40</sup>. Sin embargo, es cuestionable que este efecto aparezca realmente durante la cocción de la cerámica de recubrimiento sobre Y-TZP chorreado con  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Por lo que respecta a las temperaturas del proceso de cocción cerámica, tiene lugar un retorno de la superficie de Y-TZP monoclinica a la forma tetragonal<sup>25,52,62</sup>. Como posible causa de la disminución de la resistencia de la unión de las cerámicas de recubrimiento sobre el Y-TZP chorreado con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  cabe considerar los defectos, tales como roturas, grietas, rasguños o fisuras superficiales, causados por el proceso de chorreo en la superficie del Y-TZP y por consiguiente en la zona de unión a la cerámica de recubrimiento. Dichos defectos son visibles en la imagen MEB correspondiente y se describen de igual manera en la bibliografía. Cabe partir de la premisa de que estos defectos también están presentes tras la cocción de la cerámica de recubrimiento, dado que según Fischer et al no llegan a fundirse ni tan siquiera a temperaturas situadas muy por encima de la temperatura de cocción de la cerámica de recubrimiento<sup>18,25,31,40</sup>. Más bien cabe suponer, sobre la base de los resultados de algunos estudios, que la profundidad de los defectos dentro del Y-TZP se ve incrementada debido a las influencias térmicas de los procesos de cocción<sup>3,11,28</sup>. En línea con esta hipótesis, Aboushelib et al han encontrado defectos estructurales en la zona de contacto en imágenes de Y-TZP chorreado con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 110  $\mu\text{m}$  y recubierto con cerámica tomadas mediante microscopio electrónico de barrido<sup>2</sup>. Bioko ha observado en sus estudios una concentración elevada de aluminio y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  impactado en la superficie del Y-TZP en superficies de Y-TZP chorreadas con  $\text{Al}_2\text{O}_3$ <sup>13</sup>. Es posible que esto constituya un trastorno adicional que reduzca la unión en la zona de contacto entre el Y-TZP y la cerámica de recubrimiento.

*Mediciones de resistencia de la unión, Y-TZP chorreado*



## *Mediciones de resistencia de la unión, Y-TZP tratado con fresas diamantadas*

La rugosidad superficial del Y-TZP se incrementó mediante el tallado con diamantes (tabla 3). La adherencia mecánica debería mejorarse como consecuencia del aumento de la superficie de retención, y por lo tanto debería poder presuponerse un aumento de la resistencia de la unión a la cerámica de recubrimiento. En la práctica, de forma análoga a lo ocurrido en la serie con chorreado con  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , se redujo la resistencia de la unión a la cerámica de recubrimiento en comparación con la serie de control no tratada, alcanzándose en algunos casos niveles de significación estadística.

Las posibles causas del empeoramiento de la unión pueden buscarse en los efectos ya discutidos del chorreo del Y-TZP con  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . La transformación de la superficie desde la forma tetragonal a la monoclinica se produce también tras el tallado de la superficie del Y-TZP con fresas diamantadas. Además, se describen defectos tales como fisuras y roturas, los cuales también se aprecian en las imágenes MEB del presente estudio<sup>16,24-26,31,35</sup>. La transformación de la capa superficial del Y-TZP desde la forma tetragonal a la monoclinica es, como ya se ha discutido al tratar los efectos del chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sobre la resistencia de la unión a la cerámica de recubrimiento, reversible bajo la influencia de temperaturas como las que se dan durante el proceso de cocción de la cerámica<sup>25</sup>. Por lo tanto, cabe partir de la premisa de que los defectos de la superficie del Y-TZP provocados por el tallado debilitan la unión a la cerámica de recubrimiento de forma similar a lo que ocurre con el chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  debido a la formación de defectos estructurales en la zona de contacto del Y-TZP a la cerámica de recubrimiento.

## **Conclusión**

El tratamiento de la superficie del Y-TZP mediante chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 110  $\mu\text{m}$  o mecanización con fresas diamantadas rotatorias antes de la cocción de la cerámica reduce la resistencia de la unión de la cerámica de recubrimiento.

A diferencia de lo que ocurre con la mecanización con fresas diamantadas rotatorias, no es posible incrementar la rugosidad de la superficie de Y-TZP mediante chorreo con  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 110  $\mu\text{m}$ . Los tratamientos superficiales mecánicos estudiados provocan defectos visibles en imágenes tomadas mediante microscopio electrónico de barrido, tales como bordes de rotura y microfisuras en las superficies de Y-TZP. Estos defectos deben considerarse como causantes de la menor resistencia de la unión de la cerámica de recubrimiento sobre el Y-TZP sometido al tratamiento correspondiente.

Los tratamientos superficiales mecánicos por minimizar generalmente en el marco del procesamiento del Y-TZP en laboratorios dentales deberían omitirse totalmente, siempre que sea posible, en relación con la superficie de Y-TZP prevista para el recubrimiento cerámico.

## **Bibliografía**

1. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations Part II: Zirconia veneering ceramics. *Dent Mater* 2006;22:857-863.
2. Aboushelib MN, de Jager H, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. *Dent Mater* 2005;21:984-991.
3. Alcalá J, Anglada M. Fatigue and static crack propagation in yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystals: crack growth micromechanisms and precracking effects. *J Am Ceram Soc* 1977;80:2759-2772.
4. Anonymus. DIN 4762 Kenngrößen Oberflächenrauheit. Genf: International Organization for Standardization, 1989.
5. Anonymus. ISO 9693:1999 Metal-ceramic dental restorative systems. Genf: International Organization for Standardization, 1998.

6. Anonymus. DIN EN ISO 13485 Medizinprodukte-Qualitätsmanagementsysteme-Anforderungen für regulatorische Zwecke. Genf: International Organization for Standardization, 2003.
7. Anonymus. LavaTM Kronen & Brücken. Online im Internet: [http://multimedia.3m.com/mws/media/webserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUMY\\_1N8\\_9ev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS](http://multimedia.3m.com/mws/media/webserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUMY_1N8_9ev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS) (23.5.2010).
8. Anonymus. Technische Arbeitsanleitung GC Intital Ti. Leuven: GC Europe N.V., 2004.
9. Anonymus. Cercon® ceram kiss Produktbeschreibung und Gebrauchsanweisung. Online im Internet: [http://www.degudent.de/Kommunikation\\_und\\_Service/Download/Keramik/Direktvertrieb/Cercon\\_ceram\\_kiss/cercon\\_ceram\\_kiss\\_broschuere.pdf](http://www.degudent.de/Kommunikation_und_Service/Download/Keramik/Direktvertrieb/Cercon_ceram_kiss/cercon_ceram_kiss_broschuere.pdf) (23.5.2010)
10. Anonymus. Triceram auf Zirkoniumdioxid. Online im Internet: <http://www.dentaurum.de/files/989-644-10.pdf> (21.5.2010).
11. Badwal SPS. Grain-boundary resistivity in zirconia-based materials—effect of sintering temperatures and impurities. *Solid State Ion* 1995;76:67-80.
12. Beuer F, Pohl C, Erdelt KJ, Schweiger J, Eichberger M, Gernet W. Die mechanische Belastbarkeit von Zirkoniumoxidgerüst-Kronen nach thermischer Belastung in Abhängigkeit vom Verblendmaterial. *Dtsch Zahnärztl Z* 2006;61:546-550.
13. Bioko A. Untersuchungen zur Einflussnahme auf die Verbundfestigkeit von Zirkondioxid zur Verblendkeramik. Berlin: Med Diss, 2009.
14. Christel P, Meunier A, Heller M, Torre JP, Peille CN. Mechanical properties and short-term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. *J Biomed Mater Res* 1989;23:45-61.
15. Claus H. Viele Faktoren haben einen positiven Einfluß auf die Haftung von Dentalkeramik. *Dent Lab* 1985;33:897-900.
16. Curtis AR, Wright AJ, Fleming GJP. The influence of surface modification techniques on the performance of a Y-TZP dental ceramic. *J Dent* 2006;34:195-206.
17. Edelhoff D, Weber V, Johnen C, Beuer F. HIP zirconia fixed partial dentures –clinical results after 3 years of clinical service. *Quintessence Int* 2008;39:459-471.
18. Fischer J, Grohmann P, Stawarczyk B. Effect of Zirconia Surface Treatments on the Shear Strength of Zirconia/Veneering Ceramic Composites. *Dent Mater J* 2008;27:448-454.
19. Fokas-Tsenteratos G. Influence of the surface and heat treatment on the flexural strength and reliability of Y-TZP dental ceramic. Tübingen: Med Diss, 2010.
20. Freesmeyer WB, Lindemann W. Biegefestigkeit eines Edelmetall-Keramik-Verbundes in Abhängigkeit von der Vorbehandlung des Metallgerüsts. *Dtsch Zahnärztl Z* 1981;36:791-796.
21. Freesmeyer WB, Lindemann W. Verbundfestigkeit zwischen keramischer Masse und NEM-Legierungen in Abhängigkeit von der Vorbehandlung des Metallgerüsts. *Dtsch Zahnärztl Z* 1982;37:288-291.
22. Garvie RC, Hannink RH, Pascoe RT. Ceramic steel? *Nature* 1975;258:703-704.
23. Graber R, Besimo C. Das DCS-Hochleistungskeramik-System - Ein neuer Weg zur computergestützten Herstellung von metallfreien Zirkonoxid-Kronen und Brücken. *Quintessenz Zahntech* 1994;20:57-64.
24. Green D. A technique for introducing surface compression into zirconia ceramics. *J Am Ceram Soc* 1983;66:C178-C179.
25. Guazzato M, Quach L, Albakry M, Swain M. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *J Dent* 2005;34:195-206.
26. Gupta T. Strengthening by surface damage in metastable tetragonal zirconia. *J Am Ceram Soc* 1980;63:117-121.
27. Hahn R, Löst C. Konventionelle Dentalporzellane versus bruchzähe Hochleistungskeramiken. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992;47:659-664.
28. Hummel RE. Understanding materials science. 2nd ed. New York: Springer, 2004.
29. Kern M, Bauer HG, Kimmich H. Das 1x1 der Zirkonoxid-Behandlung. *Zahntech Mag* 2010;14:28-32.
30. Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dent Mater* 1999;15:426-433.
31. Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. Strength and reliability of surface treated Y-TZP dental ceramics. *J Biomed Mater Res* 2000;53:304-313.
32. Luthardt RG, Musil M. Das Precident-DCS-System für Kronen und Brücken. *Phillip J* 1996;13:217-225.
33. Luthardt RG, Musil M. CAD/CAM-gefertigte Kronengerüste aus Zirkonoxid-Keramik. *Dtsch Zahnärztl Z* 1997;52:380-384.
34. Luthardt RG, Sandkuhl O, Reitz B. Zirconia-TZP and Alumina - Advanced Technologies for Manufacturing of Single Crowns. *Eur J Prosthodont Res Dent* 1999;7:113-119.



35. Luthardt RG, Holzhütter MS, Rudolph H, Herold H, Walter MH. CAD/CAM-machining effects on Y-TZP zirconia. *Dent Mater* 2004;20:655-662.
36. Manicone PF, Iommetti PR, Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: Basic properties and clinical applications. *J Dent* 2007;35:819-826.
37. Mann HB, Whitney DR. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Ann Math Statist* 1947;23:50-60.
38. Molin MK, Karlsson SL. Five-year clinical prospective evaluation of zirconia-based Denzir 3-unit FPDs. *Int J Prosthodont* 2008;21:223-227.
39. Nothdurft FP, Rountree PR, Pospiech PR. Clinical long-term behaviour of Zirconia-based bridges (LAVA): Five years results. Online im Internet: [http://iadr.confex.com/iadr/pef06/preliminaryprogram/abstract\\_85451.htm](http://iadr.confex.com/iadr/pef06/preliminaryprogram/abstract_85451.htm) (13.5.2010).
40. Papanagiotou HP, Morgano SM, Giordano RA, Pober R. In vitro evaluation of low- temperature aging effects and finishing procedures on the flexural strength and structural stability of Y-TZP dental ceramics. *J Prosthet Dent* 2006;96:154-164.
41. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as ceramic biomaterial. *Biomaterials* 1999;20:1-23.
42. Raigrodski AJ, Chiche GJ, Potiket N, Hochstedler JL, Mohamed SE, Billiot S, Mercante DE. The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide-based ceramic fixed partial dental prostheses: A prospective clinical pilot study. *J Prosthet Dent* 2006;96:237-244.
43. Reppel PD, Walter M, Böning K. Metallkeramischer Zahnersatz aus Titan - eine Nachuntersuchung. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992;47:524-526.
44. Rödiger M, Gersdorff N, Hüls A, Rinke S. Prospective Evaluation of Zirconia Posterior Fixed Partial Dentures: 4-Year Clinical Results. *Int J Prosthodont* 2010;23:141-148.
45. Sailer I, Gottnerb J, Kanelb S, Hämmerle CHF. Randomized controlled clinical trial of zirconia-ceramic and metal-ceramic posterior fixed dental prostheses: a 3-year follow-up. *Int J Prosthodont* 2009;22:553-560.
46. Sailer I, Fehér A, Filser F, Gauckler LJ, Lüthy H, Hämmerle CHF. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 2007;20:383-388.
47. Schwarz S, Lenz J, Schwickerath H. Zur Festigkeit des metallkeramischen Verbundes bei der Biegeprüfung. *Dtsch Zahnärztl Z* 1988;43:1152-1158.
48. Shapiro SS, Wilk MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 1965;52:591-611.
49. Slotosch S. In vitro Untersuchungen zum Einfluss von mechanischen Oberflächenbearbeitungsverfahren auf den Verbund von Zirconia-TZP zu ausgewählten Verblendkeramiken. Berlin: Med Diss, 2009.
50. Stawarczyk B, Fischer J. Vollkeramik, Titan oder konventionelle Metallkeramik. *Quintessenz Zahntech* 2008;34:556-564.
51. Sturzenegger B, Fehér A, Lüthy H, Schumacher M, Loeffel O, Filser F, Kocher P, Gauckler L, Schärrer P. Klinische Studie von Zirkonoxidbrücken im Seitenzahngebiet hergestellt mit dem DCM-Verfahren. *Acta Med Dent Helv* 2000;5:131-139.
52. Sundh A, Molin M, Sjogren G. Fracture resistance of yttriumoxide partially-stabilized zirconia all-ceramic bridges after veneering and mechanical fatigue testing. *Dent Mater* 2005;21:476-482.
53. Suttor D. Möglichkeiten und Grenzen der Vollkeramik. Vortrag 11. Wilmersdorfer Symposium der Freunde und Förderer der Zahnmedizin an der Freien Universität Berlin 2007. Berlin, 23.06.2007.
54. Tholey MJ, Stephan M. Haftverbundmechanismen in dentalen Schichtsystemen. *Quintessenz Zahntech* 2007;33:160-168.
55. Tiller H-J, Magnus B, Göbel R, Musil R. Der Sandstrahlprozeß und seine Einwirkung auf den Oberflächenzustand von Dentallegierungen (I). *Quintessenz* 1985;36:1927-1933.
56. Tiller H-J, Magnus B, Göbel R, Musil R. Der Sandstrahlprozeß und seine Einwirkung auf den Oberflächenzustand von Dentallegierungen (II). *Quintessenz* 1985;36:2151-2158.
57. Tinschert J, Natt G, Spiekermann H. Aktuelle Standortbestimmung von Dentalkeramiken. *Dent Praxis* 2001;18:293-309.
58. Tinschert J, Natt G, Latzke P, Schulze KA, Heussen N, Spiekermann H. Bewährung von vollkeramischen Brücken aus DC-Zirkon: 5-jahres-Ergebnisse. *ZWR* 2007;116:58.
59. Vickery RC, Badinelli LA. Nature of attachment forces in porcelain gold systems. *J Dent Res* 1968;47:683-689.
60. Vult von Steyern P, Carlson P, Nilner K. All-ceramic fixed partial dentures designed according to the DC-Zirkon® technique. A 2-year clinical study. *J Oral Rehab* 2005;32:180-187.
61. Wehnert L, Radlanski RJ, Freesmeyer WB. Untersuchungen zum Verbund von Zirkonia-TZP zu ausgewählten Verblendkeramiken. *Quintessenz Zahntech* 2010;36:36-47.

62. Whalen PJ, Reidinger F, Antrim RF. Prevention of low-temperature surface transformation by surface recrystallization in yttria-doped tetragonal zirconia. J Am Ceram Soc 1989;72:319-321.
63. Zembic I, Lüthy H, Schumacher M, Schärer P, Hämmerle CHF. 2- and 3-year results of zirconia posterior fixed partial dentures, made by direct ceramic machining (DCM). Eur Cell Mater 2002;3:38.

Dr. Lothar Wehnert  
Rathenower Straße 50, 10559 Berlín, Alemania  
Correo electrónico: lotowski@web.de

Correspondencia

Dr. Susanne Slotosch  
3 Dovecotes, Car House Farm  
Lancaster, LA1 1SW, Reino Unido  
Correo electrónico: susanne.slotosch@talktalk.net

Prof. Dr. Wolfgang B. Freesmeyer (†)  
Charité-Universitätsmedizin Berlin (Campus Benjamin Franklin),  
Abteilung Restaurative Zahnmedizin, Bereich Zahnärztliche  
Prothetik, Assmannshauser Straße 4-6, 14197 Berlín, Alemania