

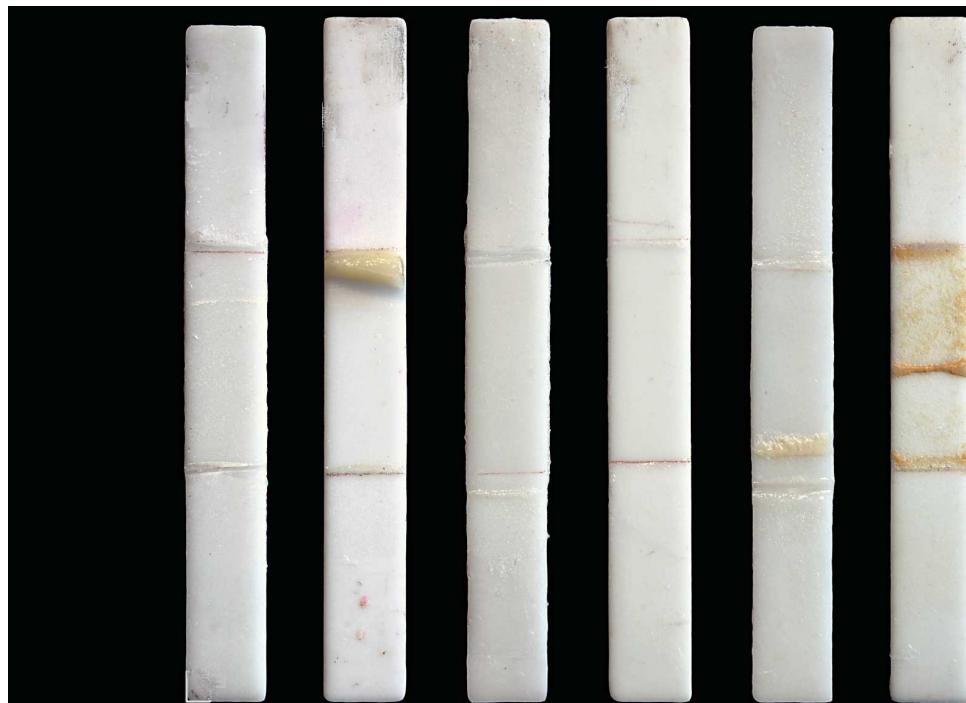
[Resumen]

En el presente estudio se investigó la unión de Zirkonia-TZP a seis cerámicas de recubrimiento mediante el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath y el ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer. Para tres cerámicas se registraron resistencias de la unión superiores a 35 MPa, de las cuales se infiere una aplicabilidad clínica segura. Para dos cerámicas se midieron resistencias de la unión de aproximadamente 25 MPa.

Palabras clave

Zirkonia-TZP. Cerámica de recubrimiento. Resistencia de la unión. Ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath. Ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer.

(Quintessenz Zahntech. 2010;36(1):36-47)



Estudios de la unión de Zirkonia-TZP a cerámicas de recubrimiento seleccionadas

Lothar Wehnert, Ralf J. Radlanski y Wolfgang B. Freesmeyer

Introducción

Las primeras publicaciones sobre el dióxido de zirconio (ZrO_2) procedentes del ámbito de la aplicación clínica datan de 1969²³. Bastante después, Christel et al abordan el dióxido de zirconio como material para la creación de bolas para articulaciones de cadera artificiales¹³. En 1994 se publica por primera vez acerca de la posibilidad de fresar estructuras para prótesis dentales fijas de ZrO_2 , especialmente de Zirkonia-TZP (policristales tetragonales de Zirkonia) mediante un método CAD/CAM a partir del correspondiente producto semiacabado²¹. En el caso de Zirkonia-TZP se trata de una cerámica de alto rendimiento con unas propiedades que hacen que este material parezca adecuado para el uso en la prótesis dental. El material consta de cristales finos con un tamaño de partícula de aproximadamente 0,5 μm , los cuales se encuentran en un estado metaestable. En virtud de la adición de 2 a 3 %mol de óxido de itrio, a temperatura ambiental los cristales de ZrO_2 se encuentran en forma tetragonal, la cual en caso de ZrO_2 puro sólo existiría por encima de una temperatura de 1.170 °C. Debido a influencias externas, entre las cuales deben mencionarse especialmente variaciones del estado de tensión de la matriz que rodea las partículas de ZrO_2 metaestables debido al avance de fisuras, las

INVESTIGACIÓN MATERIALES

partículas de ZrO_2 tetragonales se transforman en la forma monoclínica. Esta transformación martensítica va ligada a una expansión del volumen de las partículas de ZrO_2 de alrededor del 4%. En consecuencia se crea un campo de tensión de compresión que se opone a la propagación de las fisuras¹⁹.

Como consecuencia de esta obstaculización de la propagación de fisuras, el Zirkonia-TZP presenta propiedades mecánicas (tabla 1) que superan las de las cerámicas utilizadas hasta ahora en la prótesis dental. En este contexto debe tenerse en cuenta que el procesamiento CAD/CAM protésico del Zirkonia-TZP tiene lugar en dos estados de sinterización distintos. Se distingue entre el material sinterizado a la máxima densidad en el procedimiento del hot-isostatic-pressing (HIP) y el material presinterizado y semi-sinterizado⁴¹.

La sinterización relativamente densa del Zirkonia-TZP determina una opacidad comparativamente elevada y en consecuencia una posibilidad reducida de adaptación cromática mediante el uso del efecto camaleón. De ahí que las cerámicas de óxido como el Zirkonia-TZP deban recubrirse con materiales dentales cerámicos convencionales³⁹.

Se han publicado algunos estudios sobre la resistencia a la rotura de coronas o puentes recubiertos con estructuras de Zirkonia-TZP y las resistencias a la flexión de cuerpos de ensayo de Zirkonia-TZP estandarizados recubiertos cerámicamente^{9,10,22,35,37,39,40}. Sin embargo, estos estudios tan sólo permiten extraer conclusiones incompletas sobre la resistencia de la unión de la cerámica de recubrimiento sobre el Zirkonia-TZP. No obstante, esto último revestiría un interés especial, dado que una resistencia de la unión adecuada se considera un requisito para la aplicación clínica segura de materiales de unión, como por ej. en la técnica metalocerámica^{12,31}. A este respecto debe tenerse en cuenta que la técnica metalocerámica es, en virtud del principio del material de estructura recubierto con cerámica, muy similar al Zirkonia-TZP recubierto con cerámica de recubrimiento, y puede partirse de la premisa de la transmisibilidad del requisito de una buena resistencia de la unión del material de recubrimiento sobre la estructura.

En algunos estudios se investigó la unión entre el Zirkonia-TZP y diversas cerámicas de recubrimiento^{1-3,16,17,24,42}. Debido a los distintos métodos surge el problema de que los resultados no son comparables entre sí y no pueden ponerse en relación con los resultados de ensayos de resistencia de la unión estandarizados para combinaciones de materiales acreditadas clínicamente. En pocos estudios actuales se somete a ensayo la unión entre Zirkonia-TZP y la cerámica de recubrimiento mediante el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath y el ampliamente documentado ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer. No obstante, en este contexto surge la dificultad de que los resultados sólo se comunican en términos muy generales y no detallados por materiales de recubrimiento ensayados, o bien se ensaya

Tabla 1. Propiedades mecánicas de HIP Zirkonia-TZP¹⁴

Zirkonia-TZP (estabilizado con óxido de itrio)	
Peso específico [g/cm ³]	6,1
Tamaño de grano, medio [μm]	< 0,5
Dureza Vickers [HV]	1.000-1.300
Resistencia a la flexión [MPa]	1.200
Tenacidad a la rotura KIC [mN/m ^{3/2}]	9-10
Módulo de elasticidad [GPa]	220

Planteamiento del problema

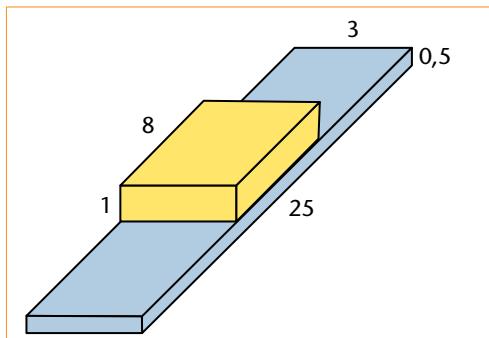


Fig. 1. Los cuerpos de ensayo para el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath, todas las medidas en mm; azul: material de la estructura; amarillo: material del recubrimiento.

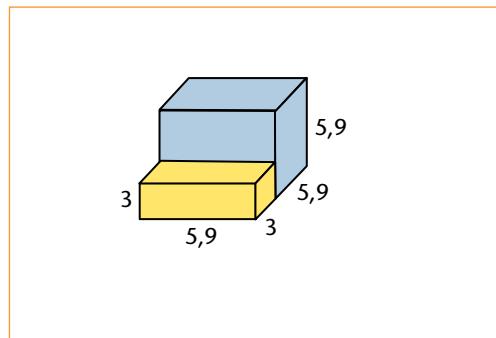


Fig. 2. Los cuerpos de ensayo para el ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer, todas las medidas en mm; azul: material de la estructura; amarillo: material del recubrimiento.

únicamente una cerámica de recubrimiento^{7,8}. Una excepción a este respecto la constituye el estudio de Kvam et al., quien sometió a ensayo tres cerámicas de recubrimiento en el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath para determinar la resistencia de su unión al Zirkonia-TZP²⁷.

El objeto del presente estudio es la investigación de la unión de Zirkonia-TZP a seis cerámicas de recubrimiento seleccionadas mediante el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath conforme a la EN ISO 9693 y el ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer. Mediante la elección del método de ensayo debe posibilitarse la comparación cuantitativa de los seis materiales de recubrimiento entre sí y con los resultados medidos para las combinaciones de metal-cerámica clínicamente acreditadas.

Material y método

Para el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath se recubren centralmente con la cerámica de recubrimiento los cuerpos de ensayo en forma de tira del material de estructura. La figura 1 muestra un cuerpo de ensayo con las dimensiones correspondientes⁵. En el ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer, el cual se llevó a cabo en la forma modificada según Schulmeyer, los cuerpos de ensayo confeccionados en el material de estructura tienen forma de cubo. Una superficie de los cubos se recubre hasta la mitad con la cerámica de recubrimiento, tal como se muestra en la figura 2 con las correspondientes dimensiones^{29,32}.

Confección de los cuerpos de ensayo de dióxido de zirconio

Los cuerpos de ensayo para el correspondiente ensayo de unión se moldearon aumentados a partir del polvo TZ-3YS-E (Tosoh Corp., Tokio, Japón), se eliminó térmicamente el aglutinante y a continuación se sinterizaron (1.400 °C, 2 h). Para el control de los cuerpos de ensayo se confeccionaron en el mismo procedimiento muestras de flexo-tracción. Éstos presentan resistencias a la flexión típicas del Zirkonia-TZP (> 950 MPa) y distribuciones de Weibull. El peso específico de los cuerpos de ensayo se determinó gravimétricamente en > 6,0 g·cm⁻³ utilizando el método de flotabilidad. En consecuencia, puede partirse de la premisa de que los cuerpos de ensayo se corresponden en su estructura interna y sus propiedades materiales con las cerámicas de dióxido de zirconio 3Y-TZP habituales en la tecnología dental.

INVESTIGACIÓN MATERIALES

Cerámica	Fabricante	Chorro con Al_2O_3 ¹	Estratificación ²
Cercon Ceram Kiss	DeguDent GmbH, Hanau, Alemania	Sí	Liner
GC Initial Zr	GC Europe N.V., Lovaina, Bélgica	Sí	Frame Modifier
HeraCeram Zirkonia	Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Alemania	No	Zr-adhesive, Liner
IPS e.max Ceram	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein	No	Liner, wash
Triceram	Dentaurum J. P. Winkelstroeter KG, Ispringen, Alemania	Sí	Liner
Vita VM 9	Vita Zahnfabrik GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Alemania	No	Liner ³

Tabla 2. Las cerámicas de recubrimiento

¹120 μm , 3 bar, aproximadamente 20 s.

²Cocciones previas a las cocciones realizadas unitariamente: 2 x dentina, 1 x final.

³Tratamiento previo térmico de la estructura antes de la cocción de liner, regeneration firing (1.000 °C, 15 min).

Antes de la aplicación de la cerámica de recubrimiento, se preparó mecánicamente la superficie a recubrir de los cuerpos de ensayo siguiendo las indicaciones de cada fabricante (tabla 2).

La tabla 2 proporciona una visión de conjunto de las cerámicas de recubrimiento utilizadas. Dado que las cerámicas se diferencian en el chorreado con Al_2O_3 por lo que respecta a la preparación mecánica del Zirkonia-TZP, la tabla indica la preparación de la superficie del Zirkonia-TZP recomendada por el fabricante antes de la cocción de la cerámica.

Además, los procesos de cocción diferentes se llevan a cabo antes de las dos cocciones de dentina realizadas unitariamente para todas las cerámicas, así como de la cocción final. Para la cocción de las cerámicas conforme a las indicaciones del fabricante se disponía del horno de cocción totalmente programable Austromat 3001 (R. Hinterberger GmbH, Freilassing, Alemania). Se calculó exactamente la temperatura de cocción para cada cerámica mediante muestras de cocción con masa transparente. Antes de la cocción de la cerámica se desengrasaron los cuerpos de ensayo con alcohol isopropílico y se limpiaron a fondo mediante chorro de vapor.

Cerámicas de recubrimiento utilizadas

Para la realización del ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath (fig. 3) se disponía de la máquina de ensayo de materiales Zwick Z 2,5 (Zwick GmbH & Co., Ulm, Alemania). La figura 3 muestra esquemáticamente la disposición del cuerpo de ensayo durante el ensayo de unión. Se hizo avanzar la aleta de compresión a una velocidad de 1 mm/min hasta la separación de la cerámica⁵. Durante el proceso, la fuerza a aplicar aumenta continuamente y disminuye espontáneamente al separarse la cerámica de recubrimiento. Como criterio para la separación de la cerámica se escogió una disminución de la fuerza del 15%. La fuerza en newtons necesaria para ello se denomina fuerza de rotura.

Realización del ensayo de unión

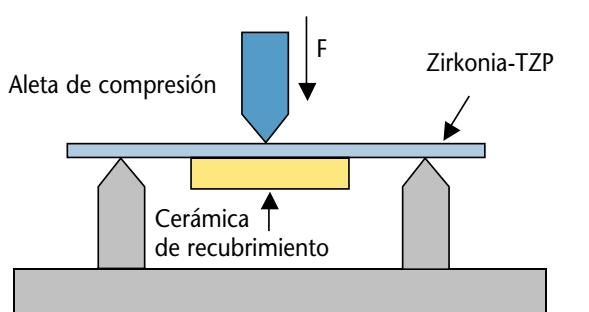


Fig. 3. Realización del ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath. TZP: policristales tetragonales.

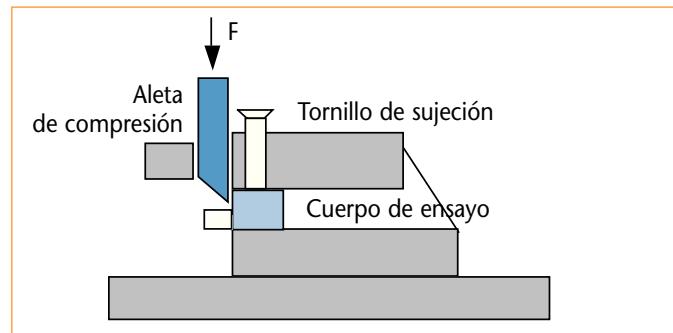


Fig. 4. Realización del ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer.

El ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer (fig. 4) se llevó a cabo en una máquina de ensayo Zwick Z2020 (Zwick GmbH & Co.) con presión creciente de 0,16 MPa/s hasta el cizallamiento de la cerámica de recubrimiento. La fuerza en newtons necesaria para ello se denomina asimismo fuerza de rotura. En la figura 4 se observa el posicionamiento del cuerpo de ensayo. Se condujo la aleta de compresión lo más cerca posible de la superficie del cubo de ZrO_2 , a fin de evitar cargas de flexión dentro de la cerámica de recubrimiento durante el cizallamiento³².

En ambos ensayos de resistencia de la unión, la fuerza de rotura fue registrada y almacenada por un ordenador conectado a las máquinas de ensayo de materiales.

Para los restantes cálculos se disponía del programa de estadística SPSS 11.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, EE. UU.). La resistencia a la flexión y el cizallamiento de 3 puntos en MPa se calculó conforme al diagrama de flujo especificado en el proyecto de norma EN ISO sobre cuya base se programó el programa de estadística. Se incorporan al cálculo la fuerza de rotura, el grosor y la anchura de los cuerpos de ensayo, así como el módulo de elasticidad del Zirkonia-TZP de 220 GPa¹⁴. La resistencia a la compresión y el cizallamiento en MPa en el ensayo de Schmitz-Schulmeyer resulta de la división de la fuerza de rotura por la superficie recubierta medida en mm² y se calculó asimismo mediante el programa SPSS 11.0³².

En el marco de los cálculos estadísticos subsiguientes se calculó la mediana de la resistencia a la rotura de la cerámica de recubrimiento-Zirkonia TZP (resistencia a la flexión y el cizallamiento de 3 puntos para en ensayo de Schwickerath y resistencia a la compresión y el cizallamiento para en ensayo de Schmitz-Schulmeyer) como media de la tendencia central («valor promedio»). Además se calculó la desviación estándar. Estos resultados, junto con los valores máximos y mínimos, se recogen en las tablas 3 y 5. Además se representan gráficamente los resultados de los ensayos de unión en forma de diagramas de distribución de datos. Los resultados de todas las series de ensayo mostraron una distribución normal en la prueba de Shapiro-Wilk. Para la comparación de los resultados del ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath se llevó a cabo la prueba t robusta según Welch con una corrección de error α según Bonferroni-Holm, dado que según la prueba de Levene no existía homogeneidad de las varianzas. Para la comparación de los resultados del ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer se llevó a cabo un análisis de varianza Anova con test post-hoc

INVESTIGACIÓN

MATERIALES

Resistencia a la flexión y el cizallamiento de 3 puntos en MPa				
	Mediana	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
Cercon Ceram Kiss	44,8	35,6	53,6	6,699
GC Initial Zr	38,4	31,1	45,7	4,918
HeraCeram Zirkonia	24,2	22,4	25,9	1,279
IPS e.max Ceram	24,7	20,5	30,1	3,359
Triceram	38,3	30,2	45,6	5,727
Vita VM 9	25,7	25,0	26,6	0,621

Tabla 3. Resultados de resistencia a la flexión y el cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath, estadística descriptiva

	Cercon Ceram Kiss	GC Initial Zr	HeraCeram Zirkonia	IPS e.max Ceram	Triceram
Vita VM 9	0,000 ^a	0,000 ^a	0,032 n. s. ^b	0,707 n. s.	0,001 ^a
Triceram	0,053 n. s.	0,885 n. s.	0,001 ^a		0,001 ^a
IPS e.max Ceram	0,000 ^a	0,000 ^a	0,543 n. s.		
HeraCeram Zirkonia	0,000 ^a	0,000 ^a			
GC Initial Zr	0,048 n. s. ^b				

Tabla 4. Resultados de resistencia a la flexión y el cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath, comparación (prueba t robusta según Welch, corrección de error a según Bonferroni-Holm)

n. s.: no significativo.

^aSignificativo; ^btras corrección de error α no significativo (aunque $p < 0,05$).

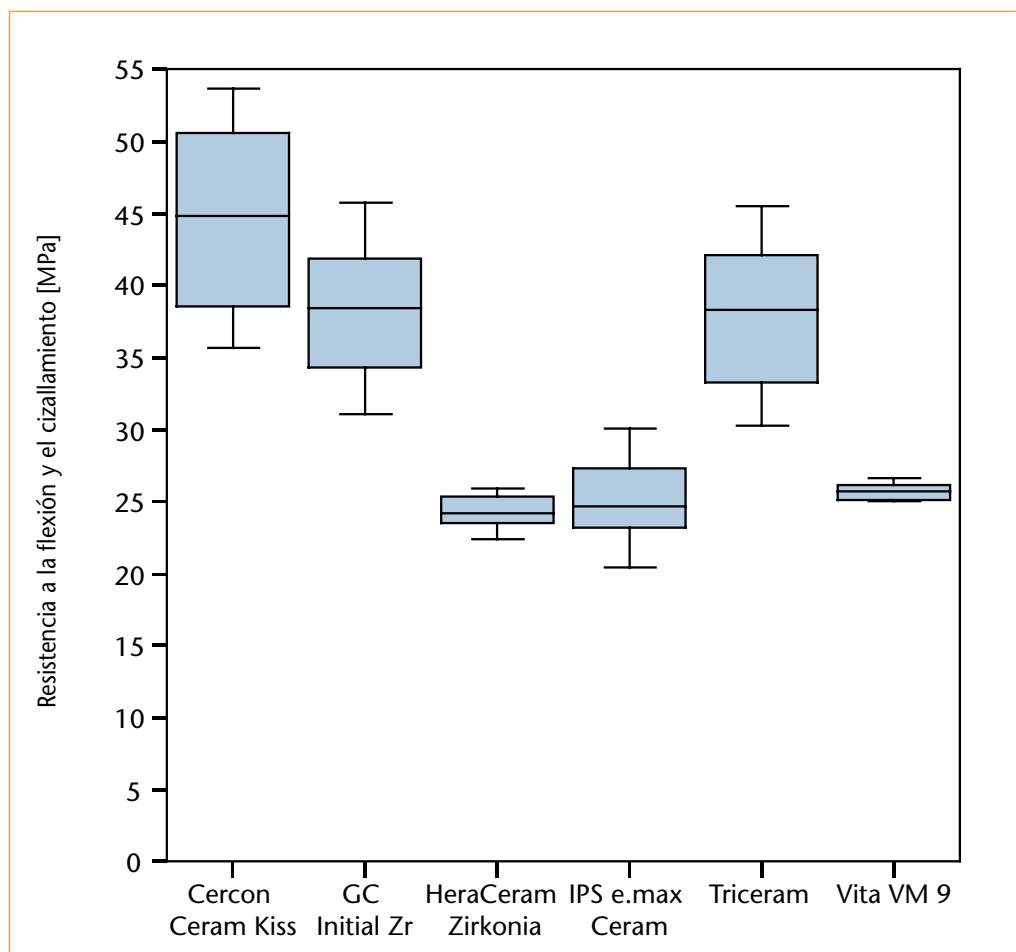


Fig. 5. Resultados de la resistencia a la flexión y el cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath, diagramas de cajas.

Tabla 5. Resultados del ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer, estadística descriptiva

Resistencia a la flexión y el cizallamiento de 3 puntos en MPa				
	Mediana	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
Cercon Ceram Kiss	34,9	22,8	46,6	7,128
GC Initial Zr	30,2	23,7	37,1	4,427
HeraCeram Zirkonia	25,3	19,0	28,0	3,663
IPS e.max Ceram	20,4	16,6	26,3	3,784
Triceram	47,3	42,6	50,4	3,112
Vita VM 9	41,6	26,1	54,0	9,916

Tabla 6. Resultados del ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer, comparación (análisis de varianza Anova, test post-hoc según Bonferroni)

	Cercon Ceram Kiss	GC Initial Zr	HeraCeram Zirkonia	IPS e.max Ceram	Triceram
Vita VM 9	0,693 n. s.	0,050*	0,000*	0,000*	1,000 n. s.
Triceram	0,014*	0,001*	0,000*	0,000*	
IPS e.max Ceram	0,003*	0,186 n. s.	1,000 n. s.		
HeraCeram Zirkonia	0,094 n. s.	1,000 n. s.			
GC Initial Zr	1,000 n. s.				

n. s.: no significativo.

*Significativo.

según Bonferroni, después de que la prueba de Levene arrojara homogeneidad de las varianzas. El nivel de significación a se estableció en 0,05.

Resultados

Resistencia a la flexión y el cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath

Ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer

La figura 5 y las tablas 3 y 4 muestran los resultados del ensayo de resistencia de la unión en el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath y los correspondientes cálculos estadísticos.

La figura 6 y las tablas 5 y 6 muestran los resultados del ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer, así como la correspondiente estadística.

La figura 7 muestra los cuerpos de ensayo de Schwickerath tras la realización del ensayo de resistencia de la unión y la retirada manual de la cerámica de recubrimiento. La superficie de recubrimiento no presenta en principio restos adheridos de cerámica de recubrimiento visibles para Cercon Ceram Kiss, HeraCeram Zirkonia e IPS e.max Ceram. En el caso de GC Initial Zr y Triceram se aprecian unos pocos restos de la cerámica de recubrimiento. En cambio, en el caso de Vita VM 9 se observan restos de la cerámica de recubrimiento prácticamente en toda la superficie de recubrimiento.

Discusión

Los resultados revelan diferencias considerables en cuanto a la resistencia de la unión entre las distintas cerámicas de recubrimiento sobre el Zirkonia-TZP. A este respecto, Cercon Ceram Kiss, GC Initial Zr y Triceram presentan en ambos métodos resistencias de la unión superiores a 35 MPa. Las cerámicas sólo se diferencian entre sí en escasa medida, y de forma no significativa estadísticamente (tablas 4 y 6). Una excepción la constituye Triceram, cuya resistencia de la unión sobre el Zirkonia-TZP en el ensayo de Schmitz-Schulmeyer se sitúa, con una mediana de 47,3 MPa, significativamente (tabla 6) por encima de las demás cerámicas. Hasta

INVESTIGACIÓN MATERIALES

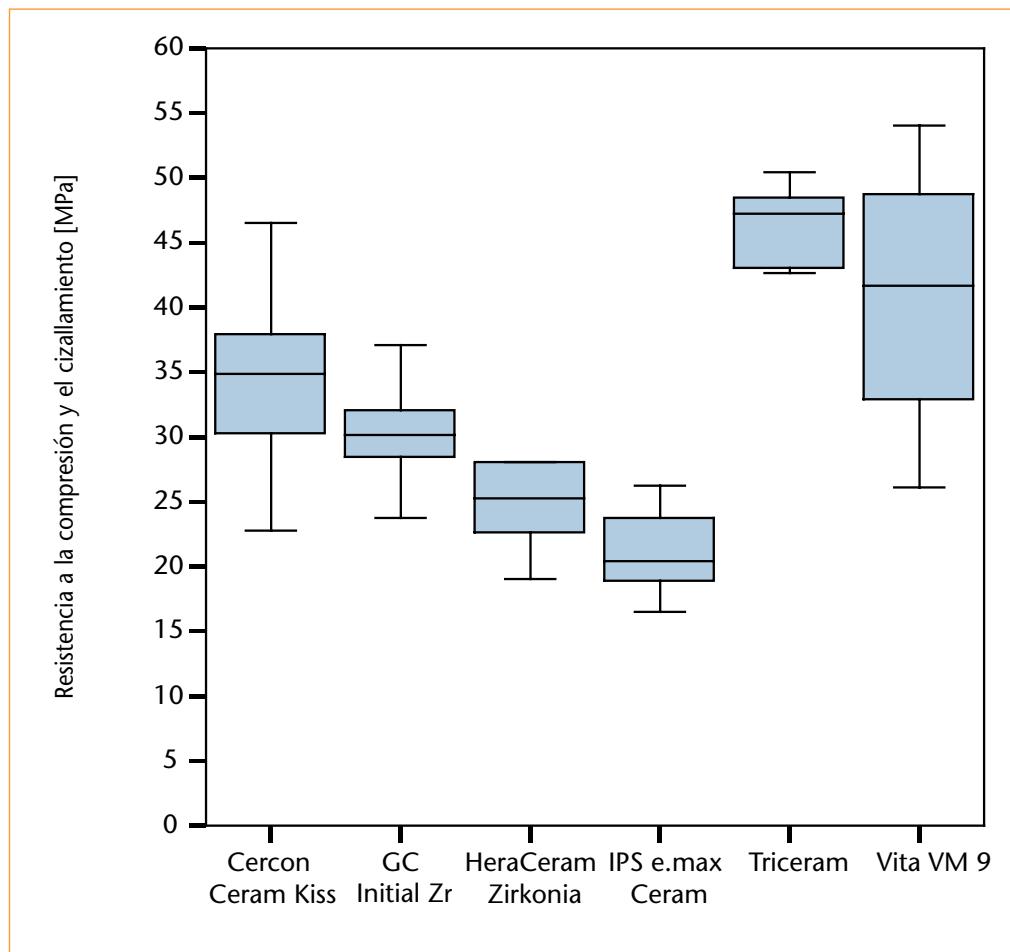


Fig. 6. Resultados del ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer, dia-gramas de cajas.

donde llega el conocimiento del autor, todavía no se han publicado hasta la fecha resistencias de la unión tan elevadas en el ensayo compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer modificado según Schulmeyer. En el ensayo de Schwickerath se registran las uniones de las aleaciones con elevado contenido en oro a las cerámicas de recubrimiento entre 39,2 y 48 MPa^{4,11,28}. En el ensayo de Schmitz-Schulmeyer, los valores de adhesión de las cerámicas de recubrimiento sobre aleaciones con elevado contenido en oro se sitúan entre 25 y 31 MPa^{20,30}. Así pues, en ambos métodos de ensayo de resistencia de la unión se alcanzan o se superan los resultados de las combinaciones acreditadas clínicamente de aleaciones de metales nobles y cerámica de recubrimiento. En consecuencia, cabe partir de la premisa de que se da la aplicabilidad clínica segura de las cerámicas de recubrimiento en cuestión sobre Zirkonia-TZP. Sin embargo, es preciso partir de la base de que en condiciones clínicas debe esperarse una disminución de las resistencias de la unión debido al envejecimiento de las muestras. Esta circunstancia deberá esclarecerse en estudios adicionales.

En relación con los elevados resultados de resistencia de la unión del Triceram cabe discutir lo siguiente: Por lo que respecta al comportamiento de expansión térmica, el Triceram está armonizado con el titanio con un coeficiente de expansión térmica (CET) de $9,6 \times 10^{-6} \times K-1$, situado claramente por debajo del CET del Zirkonia-TZP de $10,8 \times 10^{-6} \times K-1$ ^{18,26}. Por lo menos en el caso del Triceram no puede atribuirse una gran importancia

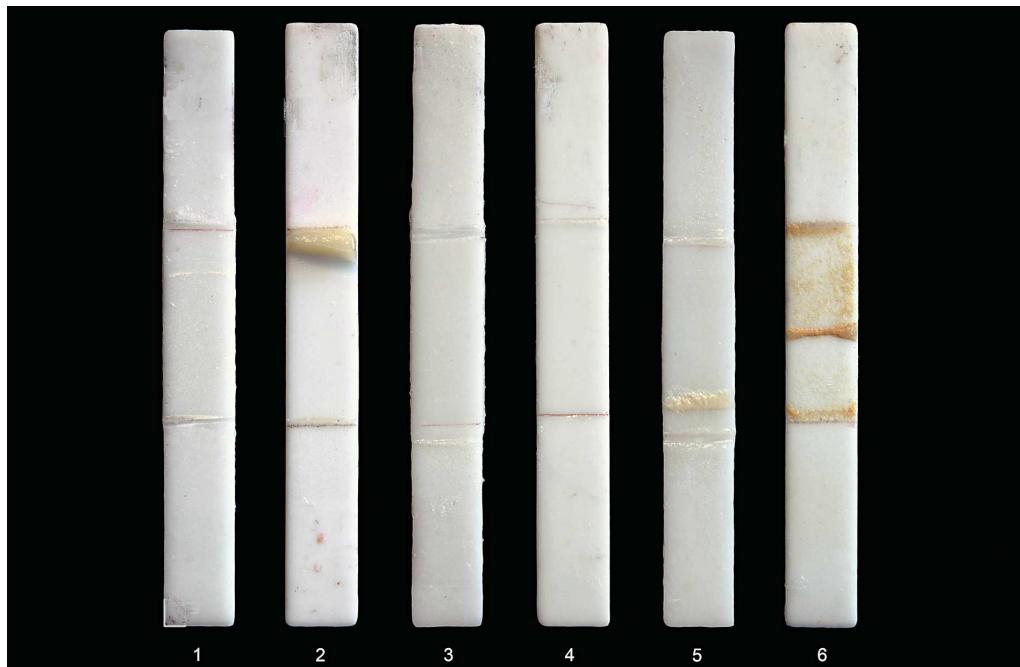


Fig. 7. Las piezas de prueba según el ensayo de Schwickerath: 1) Cercom Ceram Kiss; 2) GC Initial Zr; 3) HeraCeramZirkonia; 4) IPS e.maxCeram; 5) Triceram; 6) Vita VM9.

a una unión debido a la contracción de la cerámica sobre el Zirkonia-TZP mediante la pertinente armonización del CET. En la superficie del Zirkonia-TZP no puede alcanzarse un incremento de la rugosidad mediante el chorreo con Al_2O_3 ^{15,34}. En consecuencia, una mayor adhesión del Triceram debido a un buen anclaje mecánico a las irregularidades superficiales tampoco puede ser causante de la buena unión al Zirkonia-TZP, lo cual también es aplicable en principio a las otras dos cerámicas de recubrimiento con una adhesión comparativamente mayor al Zirkonia-TZP (véase la tabla 2). Así pues, puede inferirse una gran importancia de los liners para la unión de las cerámicas de recubrimiento al Zirkonia-TZP. En este contexto, cabe partir de la premisa de que, contra la suposición de una unión puramente mecánica entre Zirkonia-TZP y la cerámica de recubrimiento, se produce una unión química, aspecto éste discutido también por otros autores^{18,33,36,38}.

Las cerámicas HeraCeram Zirkonia, IPS e.max Ceram y Vita VM 9 se sitúan en el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath, con unas medianas de entre 24,2 y 25,7 MPa, a un nivel relativamente bajo y estadísticamente significativamente por debajo de las otras tres cerámicas (tabla 4). No se alcanzan los resultados para la unión de cerámicas de recubrimiento a las aleaciones con elevado contenido en oro (véase arriba), y el valor mínimo de resistencia de la unión de 25 MPa exigido en el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath sólo es alcanzado apenas por Vita VM 9.5 En el ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer, los valores de resistencia de la unión de HeraCeram Zirkonia e IPS e.max Ceram son también comparativamente bajos con 25,3 y 20,4 MPa, y sólo en el caso de HeraCeram Zirkonia se sitúan en el rango inferior de las uniones entre aleaciones con elevado contenido en oro y la cerámica de recubrimiento (véase arriba). El comportamiento opuesto de Vita VM 9 en los ensayos de resistencia de la unión se discute más adelante. Las cerámicas HeraCeram Zirkonia e IPS e.max Ceram tienen en común por una parte que el Zirkonia-TZP no es chorreado con Al_2O_3 an-

INVESTIGACIÓN

MATERIALES

tes de la cocción de la cerámica (tabla 2). Estudios posteriores han demostrado que el chorreo con Al_2O_3 realizado con las tres cerámicas con la mayor resistencia de la unión medida conduce tendencialmente a una disminución de la unión a la cerámica de recubrimiento, una conclusión apoyada por los resultados de los estudios relevantes por parte de Hill et al^{24,34}. En consecuencia, la renuncia al chorreo con Al_2O_3 en las dos cerámicas afectadas resultaría más bien, en contra de los resultados presentes, en un incremento de la resistencia de la unión. Por lo tanto, no debe buscarse aquí una explicación de la resistencia de la unión comparativamente menor medida realmente en el presente estudio.

Las cerámicas en cuestión tienen en común además una estratificación más laboriosa en la zona de unión al Zirkonia-TZP en comparación con los demás materiales ensayados. En este caso, antes de la cocción de dentina no sólo se aplica un liner o Frame Modifier, sino que se cuece un Zr-adhesive y liner o se realiza una cocción de liner y una cocción wash (tabla 2). En este contexto debe tenerse en cuenta que el material cerámico adicional, al contrario que las cerámicas de recubrimiento, las cuales contienen sólo un liner o Frame Modifier, forma otra capa y otra zona de contacto. Es concebible que se haya producido una separación prematura de la unión dentro de estas capas y zonas de contacto, y que ello resulte en la resistencia de la unión relativamente reducida para estas cerámicas. Estudios posteriores podrían abordar esta cuestión.

La resistencia de la unión inusualmente elevada de Vita VM 9 en el ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer se contrapone a los resultados del ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath. No es posible explicar completamente estos resultados sobre la base del presente estudio. Una particularidad de Vita VM 9 es la temperatura proporcionalmente elevada de 1.000 °C y el tratamiento térmico relativamente largo de 15 min del Zirkonia-TZP antes de la cocción de la cerámica (véase la tabla 2). Esta cocción debería invertir la transformación de fase de la superficie del Zirkonia-TZP desde la fase tetragonal a la monoclínica, la cual es inducida por el tratamiento mecánico de la superficie no sólo en forma del chorreo con Al_2O_3 , sino también por el rectificado en el marco del proceso de confección CAD/CAM de las estructuras de Zirkonia-TZP (cocción de regeneración, tabla 2)^{15,25}. El fabricante de Vita VM 9 parte de la base de que mediante la superficie monoclínica se introducen tensiones reductoras de la unión en la zona de contacto entre el Zirkonia-TZP y la cerámica de recubrimiento. Esto se atribuye al CET muy bajo del Zirkonia-TZP monoclínico, de $7,5 \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1}$, en comparación con el Zirkonia-TZP tetragonal¹⁸. Es posible que las relaciones de tensión extremadamente complejas que siempre aparecen en las zonas de contacto en los ensayos de unión hayan sido intensificadas de forma indeseada por la cocción de regeneración en contra de la intención del fabricante, y que hayan influido en los resultados del ensayo de resistencia de la unión de Vita VM 9, especialmente en el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath⁶. También Fischer et al han observado un efecto reductor de la cocción de regeneración sobre la resistencia de la unión entre Vita VM 9 y Zirkonia-TZP¹⁸.

Para las cerámicas de recubrimiento Cercon Ceram Kiss, GC Initial Zr y Triceram se midieron en el ensayo de flexión y cizallamiento de 3 puntos según Schwickerath y en el ensayo de compresión y cizallamiento según Schmitz-Schulmeyer resistencias de la

Conclusión

unión que permiten concluir que dichos materiales de recubrimiento poseen una aplicabilidad clínica segura.

Sobre la base del presente estudio, cabe suponer una fuerte influencia de los liners sobre la resistencia de la unión de las cerámicas de recubrimiento al Zirkonia-TZP. Además cabe concluir que se produce una unión química entre el Zirkonia-TZP y las cerámicas de recubrimiento.

Los resultados contradictorios para Vita VM 9 pueden atribuirse al tratamiento previo térmico del Zirkonia-TZP.

Sobre la base de los presentes resultados, una estratificación laboriosa de liners, adhesivos o masas de cocción wash previa a la cocción de dentina parece oponerse a una buena unión del Zirkonia-TZP a la cerámica de recubrimiento. Estudios posteriores podrían abordar esta cuestión.

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. Al-Dohan HM, Yaman P, Dennison JB, Razzog ME, Lang BL. Shear strength of core-veneer interface in bi-layered ceramics. *J Prosth Dent* 2004;91:349-355.
4. Al Mutawa N, Sato T, Shiozawa I, Hasegawa S, Miura H. A Study of the Bond Strength and Color of Ultralow-Fusing Porcelain. *Int J of Prosthodontics* 2000;13:159-165.
5. Anonymus. ISO 9693:1999 Metal-ceramic dental restorative systems. Genf: International Organization for Standardization, 1998.
6. Anusavice K, Dehoff PH, Fairhurst CW. Comparative Evaluation of Ceramic-metal Bond Test Using Finite Element Stress Analysis. *J Dent Res* 1980;59:608-613.
7. Banasiak SW, Chu CC-Y, Mays SD. Evaluation of ISO9693 Bond Test with Zirconia Ceramics. Online im Internet: http://iadr.confex.com/iadr/2005Balt/techprogram/abstract_58647.htm (01.02.2007).
8. Beuer F, Sorensen JA. Testing Methods of Determine the Shear-Bond-Strength of Veneering-Porcelain to Zirconia. Online im Internet: http://iadr.confex.com/iadr/2008Toronto/tecprogramm/abstract_10868 (19.03.2009).
9. Beuer F, Kerler T, Erdelt KJ, Schweiger J, Eichberger M, Gernet W. Der Einfluss der Verblendung auf die Bruchfestigkeit von Zirkoniumdioxidrestaurationen. *Dtsch Zahnärztl Z* 2004;59:527-530.
10. 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.
11. Böning K, Walter M. Metall-Keramik-Verbund von gegossenem Titan. *Dtsch Zahnärztl Z* 1991;46:750-753.
12. Böning K, Walter M. Non-cast titanium restorations in fixed prosthodontics. *J Oral Rehab* 1992;19:281-287.
13. Christel P, Meunier A, Dorlot JM. Biomechanical compatibility and design of ceramic implants for orthopaedic surgery. *Bioceramics: material characteristics versus in vivo behavior*. Ann NY Acad Sci 1988;523:234-256.
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. 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.
16. Delucas R, Giordano R, Sabrosa C, Prober R. Bond Strength of Porcelain to Zirconia. Online im Internet: http://iadr.confex.com/iadr/2005Balt/techprogram/abstract_58337.htm (09.02.2007)
17. Fahmi M, Pober R, Giordano R. Effect of Surface Treatment on Porcelain Bond Strength to Zirconia. Online im Internet: http://iadr.confex.com/iadr/2007orleans/techprogram/abstract_92290.htm (09.02.2007).
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.

INVESTIGACIÓN MATERIALES

19. Garvie RC, Hannink RH, Pascoe RT. Ceramic steel? *Nature* 1975;258:703-704.
20. Gonser F. Werkstoffkundliche Untersuchungen eines neuen Metall-Keramik-Systems unter besonderer Berücksichtigung der Mundbeständigkeit und der mechanischen Eigenschaften. Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg: Med Diss, 1993.
21. 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.
22. Guazzato M, Proos K, Quach L, Swain MV. Strength, reliability and mode of fracture of bilayered porcelain/zirconia (Y-TZP) dental ceramics. *Biomaterials* 2004;25:5045-5052.
23. Helmer JD, Driskell TD. Research on bioceramics. In: *Anonymous (Hrsg.)*. *Symposium on Use of Ceramics as Surgical Implants*: Clemson, South Carolina: Clemson University, 1969:
24. Hill TJ. Effect of Sandblasting on Bond Strength of Three Zirconia Porcelains. Online im Internet: http://iadr.confex.com/iadr/2007orleans/techprogram/abstract_92798.htm (09.02.2007)
25. 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.
26. Küpper H, Bachmann K. Reintitan als Alternativmetall in der restaurativen Zahnheilkunde I. Der Werkstoff und seine Verarbeitung. *Quintessenz Zahntech* 1989;15:963-972.
27. Kvam K, Tibbals JE, Kosma T. Bond strength and thermal relaxation of 3Y-TZP and dental porcelains. Online im Internet: http://iadr.confex.com/iadr/pef06/techprogram/abstract_84755.htm (09.02.2007).
28. Lenz J, Schwartz S, Schwickerath H, Sperner F, Schäfer A. Bond Strength of Metal-Ceramic Systems in Three-Point Flexure Bond Test. *J Appl Biomat* 1995;6:55-46.
29. Marx H. Die metall-keramische Verbundfestigkeitsprüfung - Ein besonderes werkstoffkundliches Problem. *ZWR* 1986;12:524-527.
30. Marx H, Schwenk HJ, Stender E. Werkstoffkundliche Untersuchungen silberfreier Palladiumbasislegierungen. *ZWR* 1986;12:1254-1259.
31. Reppel PD, Walter M, Böning K. Metallkeramischer Zahnersatz aus Titan - eine Nachuntersuchung. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992;47:524-526.
32. Schmitz KH, Schulmeyer H. Bestimmung der Haftfestigkeit dentaler metallkeramischer Verbundsysteme. *Dent Lab* 1975;23:1416-1420.
33. Schwebke K. Untersuchungen zum Verbund dreier Vollkeramischer Systeme. Berlin: Med Diss, 2002.
34. Slotsch S. In vitro Untersuchungen zum Einfluss von mechanischen Oberflächenbearbeitungsverfahren auf den Verbund von Zirconia-TZP zu ausgewählten Verblendkeramiken. Berlin: Med Diss, Freie Universität Berlin (in Arbeit).
35. Stamouli K, Smeekens S, Att W, Strub JR. Bruchfestigkeit von dreigliedrigen Zirkoniumdioxid-Seitenzahnbrücken. *Dtsch Zahnärztl Z* 2006;61:621-626.
36. Stephan M. Beschichtungsverhalten von Verblendmaterialien auf Dentalkeramiken. Tübingen: Eberhard-Karls-Universität, Geowissenschaftliche Diplomarbeit, 1996.
37. Sundh A, Sjögren G. A comparison of fracture strength of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia ceramic crowns with varying core thickness, shapes and veneer ceramics. *J Oral Rehab* 2004;31:682-688.
38. Tholey MJ, Stephan M. Haftverbundmechanismen in dentalen Schichtsystemen. *Quintessenz Zahntech* 2007;33:160-168.
39. Tinschert J, Natt G, Doose B, Fischer H, Marx R. Seitenzahnbrücken aus hochfester Strukturkeramik. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999;54:545-550.
40. White SN, Miklus VG, McLaren EA, Lang LA, Caputo AA. Flexural strength of a layered zirconia and porcelain dental all-ceramic system. *J Prosth Dent* 2005;94:125-131.
41. Witkowski S. (CAD-)CAM in Dental Technology. *QDT Yearbook* 2005;28:169-184.
42. Yang B. Effect of surface treatments on bonding durability to zirconia ceramic. Online im Internet: http://iadr.confex.com/iadr/2007orleans/techprogram/abstract_91114.htm (09.02.2007).

Dr. med. dent. Lothar Wehnert.
Rathenower Strabe 50, 10559 Berlin, Alemania.
Correo electrónico: lotowski@web.de

Correspondencia

INVESTIGACIÓN MATERIALES

Prof. Dr. med. dent. Ralf J. Radlanski.
Charité-Universitäts-medizin Berlin (Campus Benjamin Franklin).
Abteilung für experimentelle Zahnmedizin/orale Strukturbiologie.
Abmannshauser Straße 4-6, 14197 Berlin, Alemania.
Correo electrónico: ralfj.radlanski@charite.de

Prof. Dr. med. dent. Wolfgang B. Freesmeyer.
Charité-Universitäts-medizin Berlin (Campus Benjamin Franklin).
Abteilung Restaurative Zahnmedizin, Bereich Zahnärztliche Prothetik.
Abmannshauser Straße 4-6, 14197 Berlin, Alemania.
Correo electrónico: wolfgang.freesmeyer@charite.de