

«Chipping»: ¿un problema inherente al sistema o derivado de la manipulación?

Peter Pospiech, Prof. Dr. med. dent.

Según los resultados de ciertos estudios clínicos sobre prótesis fijas con estructura de zirconio la tasa de desconchados en la cerámica de recubrimiento (50%) parece superar con mucho la registrada con restauraciones de metal-cerámica convencionales. Asimismo sigue existiendo cierta incertidumbre sobre cómo se debe manipular exactamente el dióxido de zirconio. A pesar de que las características de los materiales de los sistemas con estructura de metal y de zirconio son distintas, con frecuencia se lleva a cabo el mismo procedimiento y se manipulan del mismo modo, sin tener en cuenta que es necesario adaptar el procedimiento de manipulación a la cerámica: la preparación, el diseño de la estructura, los procesos de cocción y el acabado son factores que afectan al éxito del tratamiento. Básicamente se exige un procedimiento lo más estándar posible, adaptado al material y que incluya un control de calidad, puesto que la tolerancia de manipulación de los sistemas de cerámica sin metal es menor que la de los sistemas clásicos con estructura metálica.

(*Quintessenz*. 2010;61(2):173-81)

Introducción

Desde hace diez años existe la posibilidad de utilizar clínicamente prótesis fijas provistas de una estructura

no metálica de dióxido de zirconio (figs. 1a a 1c). Los resultados de los estudios clínicos realizados hasta la fecha demuestran que el índice de fracturas de la estructura es relativamente bajo. Sin embargo, en el ámbito de la cerámica de recubrimiento las tasas de fracasos comunicadas provocados por los denominados «chippings» o desconchados son muy variables. Se han comunicado tasas de desconchados de hasta el 50%^{14,18,22,23,26}. Por otro lado, algunos estudios in vitro permiten ahora observar este problema de forma más diferenciada, de modo que se puede asumir que, si el procedimiento se adapta al material, se evita en gran medida la aparición de desconchados^{2,3,10,27}.

Definiciones

El término «chipping» se utiliza tanto en el sentido de «desprendimiento», si nos referimos a fracturas adhesivas, como en el de «desconchado» o «descamación», si se habla de fracturas cohesivas. Los debates actuales giran principalmente en torno a las fracturas cohesivas, es decir, al desconchado de zonas más o menos extensas de la cerámica de recubrimiento, y no en torno a las fracturas adhesivas, esto es, el desprendimiento de la cerámica de recubrimiento de la estructura^{4,5}. Se sabe que las fracturas cohesivas también se dan con cierta frecuencia en las restauraciones de metal-cerámica (fig. 2), entre otras razones por la ingente cantidad de sistemas de reparación que ofrece la industria. No obstante, parece que los sistemas con estructura de zirconio presentan una tasa más elevada de este tipo de fracturas. Al mismo tiempo, se desconocen las tasas exactas de casos de desconchado de las restauraciones de metal-cerámica.

Las restauraciones de metal-cerámica son la regla de oro en el tratamiento con prótesis fija. Ciertamente es posible crear una unión segura entre una estructura metálica y una cerámica de recubrimiento, si bien cabe se-

Correspondencia: P. Pospiech
Clínica de Prostodoncia y Ciencia de los materiales, Preclínica Odontología (Director: Prof. Dr. P. Pospiech). Universität des Saarlandes. Campus Homburg, Gebäude 71.2. Kirrberger Straße 1 66421 Homburg/Saar, Alemania.
Correo electrónico: peter.pospiech@uniklinikum-saarland.de



Figuras 1a y 1b. Paciente de 45 años con periodontitis en los dientes remanentes en el que está indicado un saneamiento bucal completo. Vistas oclusales de la arcada superior (a) y de la inferior (b).



Figuras 1c y 1d. Saneamiento completo con el sistema de dióxido de zirconio Lava (3M Espe, Seefeld) a los 6 meses in situ. Vistas oclusales de la arcada superior (a) y de la inferior (b).

ñalar que determinadas combinaciones son más robustas (aleaciones con alto contenido en oro) y otras más sensibles a la técnica³¹ (titanio) (fig. 3). La mera adopción general de los procesos de trabajo clínicos y de laboratorio de la técnica metal-cerámica clásica para otras combinaciones de materiales resulta problemática por diversos aspectos, dado que las características de la cerámica de ambos sistemas sí son distintas, en especial en lo que a coeficientes de expansión térmica se refiere.

La figura 4 muestra un conjunto de factores que pueden intervenir en los fenómenos de desconchado. Los aspectos que se abordan a continuación se consideran

importantes para el éxito de las coronas de cerámica de recubrimiento sobre estructuras de zirconio.

Preparación

Todas las cerámicas (incluso las denominadas de alto rendimiento) son frágiles, por lo que en la medida de lo posible deben someterse a esfuerzos de compresión y no a esfuerzos de tracción ni de cizallamiento¹. Esto significa que es necesaria una preparación con hombro o chamfer circular que sirva de soporte horizontal a la corona. A pesar de que algunos fabricantes aseguran que



Figura 2. Desconchados en restauraciones de metal-cerámica.



Figura 3. Fractura adhesiva en una corona de metal-cerámica con base de titanio.

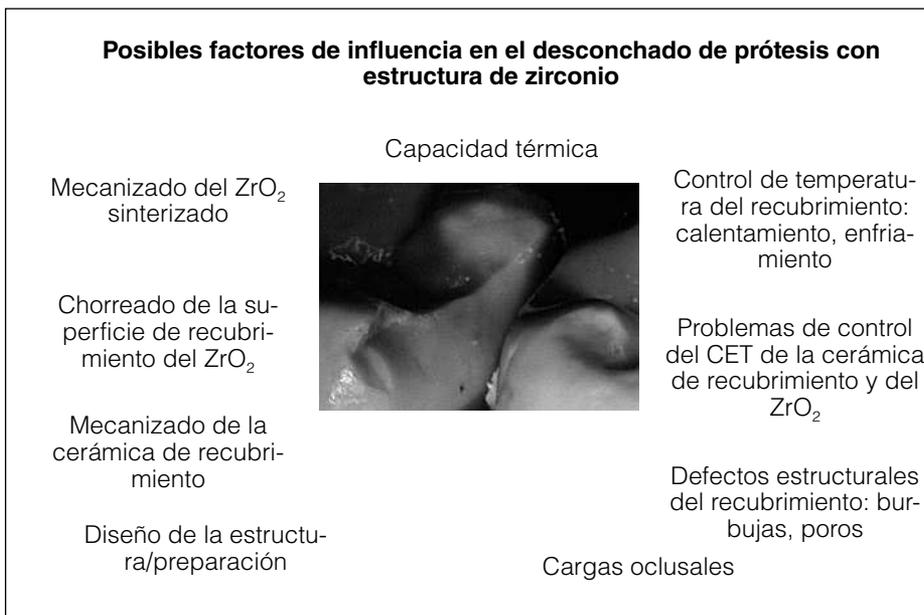


Figura 4. Factores que influyen en el desconchado grave.

sus modernos sistemas pueden escanear cualquier preparación y que son capaces de fresar restauraciones con un ajuste preciso para todo tipo de pilares, no hay que apartarse de los criterios fundamentales para lograr una preparación correcta de los pilares. Dichos criterios consisten en crear un apoyo horizontal para la absorción de cargas de compresión, redondear las zonas de transición para evitar la concentración de tensiones en la cerámica y realizar una preparación anatómica con el fin de lograr que los materiales aplicados tengan grosores uniformes.

Las formas y los límites de preparación claros son básicos para una fabricación orientada a la calidad de la prótesis, dado que también se facilita notablemente el procesamiento asistido por CAD/CAM; cuanto

mejor es el fresado inicial de la estructura, menos hay que reparar después del sinterizado. Todas las operaciones de mecanizado afectan negativamente a la microestructura y deberían limitarse al máximo^{6,20}.

Diseño de la estructura (figs. 5a y 5b)

Volviendo de nuevo a las restauraciones de metal-cerámica clásicas, vemos que los principios básicos que rigen el diseño de la estructura son un grosor de capa uniforme del recubrimiento y la función de soporte estructural para la cerámica de recubrimiento. Pero en algunos casos se abandonaba este procedimiento tradicional y garante de buenos resultados, se llevaban a cabo



Figura 5a. Reforzamiento intenso de la zona crítica del conector para favorecer la seguridad.

reducciones en la estructura atendiendo a aspectos estéticos y también en los sistemas con estructura metálica se registraban fracasos. Básicamente se requiere un grosor uniforme de la estructura metálica de al menos 0,5 mm y que el recubrimiento cerámico presente un grosor de capa uniforme no superior a 1,5-2 mm. El software CAD/CAM permitió desde el inicio obtener un grosor de pared casi uniforme en las estructuras de dióxido de zirconio; esto supuso un gran salto cualitativo, dado que la fabricación CAD/CAM garantiza la consecución de un grosor de capa homogéneo, algo que no siempre se logra en los encerados confeccionados por el técnico de laboratorio.

No obstante, las primeras generaciones de software CAD no eran capaces de generar estructuras anatómicas. Esto conllevaba en algunos casos distancias interoclusales e interdentes elevadas que debían ser compensadas con la cerámica de recubrimiento. Especialmente en las rehabilitaciones con implantes pueden existir espacios interoclusales amplios de hasta 4 mm; las cargas oclusales en este caso y las tensiones se concentran principalmente en la cerámica, que, en especial en el sector posterior, carece de una resistencia suficiente (fig. 4). A esto hay que añadir que, a diferencia del diente natural, que se encuentra suspendido por un ligamento periodontal resiliente y puede enviar señales más fácilmente sobre posibles alteraciones oclusales a través de los receptores, las coronas implantosoportadas carecen de resiliencia y de receptores, de modo que a menudo soportan cargas elevadas de forma inadvertida.

Las herramientas digitales de modelado disponibles actualmente permiten con frecuencia conferir a la estructura un diseño completamente anatómico y realizar un tallado digital (cut-back), de modo que se puede lle-



Figura 5b. Diseño de la estructura con soporte cuspeo en una prótesis implantosoportada.

var a cabo un procedimiento óptimo y reproducible, y cumplir así el requisito más importante de la metal-cerámica también en las restauraciones íntegramente cerámicas con estructura de dióxido de zirconio.

A medida que se avanza hacia distal en la arcada dental, mayor es la importancia que se debe dar a la resistencia en el diseño de la estructura. Unos rebordes marginales perfectamente estratificados en la zona de los segundos molares denotan una gran pericia por parte del técnico de laboratorio, pero en caso de duda habrá que renunciar a ellos en favor de un grosor de capa suficiente de la estructura de dióxido de zirconio. El diseño de los tramos interdentes (conectores) también debería obedecer a la premisa «estabilidad y función antes que estética», dado que dicha zona pertenece a los puntos del puente más propensos a la fractura²⁵. Las razones que llevan a minimizar el grosor del material en la zona de los conectores en las restauraciones de metal-cerámica no son aplicables a las estructuras de dióxido de zirconio, dado que en este caso no se obtiene un ahorro significativo del coste del material ni tampoco se ve comprometida la estética. El dióxido de zirconio es un material que ya ofrece una translucidez y una estética satisfactorias, y que no es preciso ocultar en la zona interdental. Asimismo, un grosor de capa uniforme facilita el procedimiento de estratificación posterior de la cerámica de recubrimiento.

Numerosas estimaciones y ensayos in vitro han demostrado que los esfuerzos de flexión críticos aparecen en la zona del conector²³⁻²⁵, razón de más para diseñar dicha zona de forma óptima (fig. 6). La altura del conector es muy importante, dado que puede llegar a elevar la resistencia a la tercera potencia. Si se duplica la altura del conector se multiplica la resistencia por ocho. Asi-

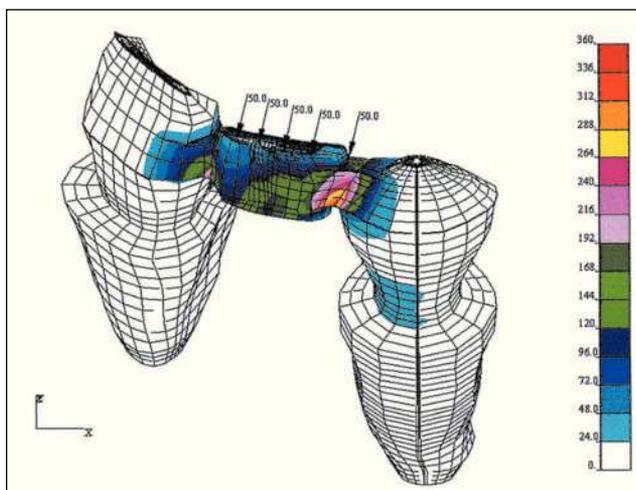


Figura 6. Modelo de cálculo de elementos finitos para puentes de cerámica sin metal: los esfuerzos de tracción y de flexión críticos se concentran en la zona del conector, de modo que es esencial evitar la reducción de la altura y la creación de aristas.

mismo se recomienda también aprovechar el espacio interoclusal al máximo y reducir la capa de recubrimiento cerámico vítreo para aumentar la resistencia.

Recubrimiento/acondicionamiento de la estructura

Los siguientes aspectos desempeñan un papel importante en la unión duradera del metal a la cerámica de recubrimiento:

- Control de los coeficientes de expansión térmica ($CET_{Met} > CET_{cer}$): durante el enfriamiento que sigue a la cocción se produce una contracción levemente mayor del metal, lo que ejerce presión sobre la cerámica.
- Estructuración de la superficie para generar una retención micromecánica.
- Generación de una capa de óxido en la superficie metálica para mejorar la adherencia.

Todavía no se ha descrito de forma exacta el mecanismo de unión entre la cerámica basada en óxido de zirconio y la cerámica vítrea. Por consiguiente, no se aconseja adoptar las mismas medidas de preparación de la estructura que en las restauraciones de metal-cerámica: un procedimiento que está generando un gran debate es el chorreado de la superficie por recubrir con óxido de aluminio. Por un lado, existe el riesgo de que se produzca una transformación de fase, pasando a una fase monoclinica, lo que podría afectar negativamente a la unión. Por otro lado, podrían quedar restos del mate-

rial chorreado en la superficie y alterar las propiedades de la cerámica. En la práctica clínica ha demostrado su utilidad el empleo de revestimientos (liners) u opáquers, de modo que se puede prescindir del chorreado^{30,31}. La limpieza con vapor a presión o ultrasónica con alcohol parece ser suficiente.

Control de los coeficientes de expansión térmica

Tal y como sucede en la técnica metal-cerámica es imprescindible controlar de forma precisa los distintos coeficientes de expansión térmica. No se pueden realizar combinaciones a discreción^{11,12}.

Cocción

El control de la temperatura durante todo el proceso de cocción es muy importante. Los cambios durante la cocción (tiempos de calentamiento, temperaturas, tiempos de enfriamiento) influyen de forma directa tanto física como estéticamente en la calidad del recubrimiento. Todos los técnicos de laboratorio saben que, si se cometen fallos durante la cocción o después de ésta, se produce un agrietamiento, también en la técnica metal-cerámica. No obstante, cincuenta años de experiencia clínica con la metal-cerámica han permitido al sistema madurar y consolidarse.

También en las restauraciones con estructura de dióxido de zirconio el control de la temperatura durante el proceso de cocción desempeña un papel importante dado que, además de utilizar una cerámica de recubrimiento con un CET adaptado de $9,4$ a $10 \times 10^{-6}/K$, hay que tener en cuenta que el comportamiento de la estructura de dióxido de zirconio es distinto al de la estructura metálica. La cerámica es un mal conductor del calor: en las restauraciones de metal-cerámica la estructura metálica se enfría con más rapidez que la cerámica, y en la cerámica se genera la oportuna tensión de compresión. Sin embargo, la capacidad térmica del dióxido de zirconio es mucho mayor que la de las aleaciones. Esto significa que un enfriamiento descontrolado a temperatura ambiente se produce de forma distinta a la de la metal-cerámica, lo que puede generar tensiones en el recubrimiento que más tarde se traducen en fracturas cohesivas. Por consiguiente hay que garantizar que las fases de enfriamiento y de calentamiento se desarrollen de forma controlada y prolongada, dado que de lo contrario se pueden producir «choques térmicos» en el interior de la cerámica de recubrimiento. Si el proceso de calentamiento o de enfriamiento es muy rápido, se generan tensiones⁷.

Figura 7a. Desprendimiento de clase 1: fractura mínima del reborde marginal distal del 34.



Figura 7b. Desprendimiento de clase 4: fractura de las vertientes vestibulares de las cúspides no activas del diente 16.



Los modelos de cálculo de elementos finitos de Eser et al⁹ demostraron que un proceso de enfriamiento y de calentamiento retardado disminuye notablemente la generación de tensiones en el recubrimiento. Estos resultados matemáticos fueron corroborados en estudios in vitro de Schmitter y Rammelsberg²⁸ llevados a cabo en el simulador de masticación en condiciones clínicas²⁹. No obstante, hay que advertir que sólo se pudieron obtener dichos resultados para un sistema cerámico. Es necesario comprobar y tal vez adaptar la adopción idéntica de los parámetros hallados en dichos estudios para otros sistemas, puesto que se sabe que los distintos sistemas de dióxido de zirconio presentan diferencias en función del proceso de manipulación. Por consiguiente, todos los fabricantes deberían adaptar los resultados hallados a los distintos sistemas. Por principio hay que tener en cuenta estos aspectos.

Recubrimiento/diseño

Tanto en la estructura como en la cerámica de recubrimiento se deben intentar obtener grosores de material uniformes. Hay que crear un soporte cuspidé para que la estructura de dióxido de zirconio pueda absorber las fuerzas de cizallamiento (figs. 5a y 5b). En caso de duda hay que reducir la capa de cerámica de recubrimiento estética en favor de la cerámica de alto rendimiento de la estructura. Los grandes grosores de capa favorecen los esfuerzos de tracción permanentes dentro de la cerámica vítrea de recubrimiento, que son el origen de procesos de desconchado²⁹.

Acabado

En este contexto denominamos acabado a una operación que se lleva a cabo en dos momentos distintos: la corrección con medios abrasivos de la estructura sinterizada y las correcciones principalmente oclusales en la prótesis de cerámica vítrea y de zirconio terminada.



Figura 7c. Desprendimiento de clase 5: fractura importante de la cúspide vestibular de la corona 35. En este caso la restauración fue sustituida por una nueva.

Básicamente se considera que el mecanizado de cerámicas sinterizadas podría inducir la formación de grietas y alterar la microestructura, además de favorecer procesos de transformación de fase, pasando de tetragonal a monoclinica, en el dióxido de zirconio. Por consiguiente se recomienda llevar a cabo un procedimiento prudente con fresas de diamante de grano fino y refrigeración por agua. Aunque esto último sólo se puede ir implantando poco a poco en el laboratorio, la refrigeración por agua es un requisito indispensable en el mecanizado de la cerámica. El sobrecalentamiento puede provocar procesos descontrolados e indeseados en la microestructura¹. Conviene por consiguiente otorgar una gran importancia a una buena preparación y a una toma de impresiones precisa del muñón con el fin de evitar correcciones posteriores, dado que la fabricación con CAD/CAM permite obtener resultados con un ajuste preciso.

Sin embargo, como es natural, en la práctica diaria no es posible evitar por completo las correcciones. Dichas correcciones deben llevarse a cabo con un procedimiento adaptado a la cerámica; lo que referido a la cerámica de recubrimiento significa realizar al menos un pulido

Tabla 1. Clasificación de los casos de «chipping» según Pospiech

Clase	Grado	Consecuencia
1	Mínima, apenas visible	Pulido
2	Apreciable a simple vista pero irrelevante para la función	Pulido
3	Sector anterior: apreciable a simple vista, relevante para la estética	Si es necesario, reparación con composite
4	Sector posterior: apreciable a simple vista, en área de soporte oclusal	Si es necesario, reparación, sustitución en función de la gravedad
5	Desconchados importantes y ulteriores desconchados pequeños	Sustitución o reparación con cementado adhesivo del fragmento o con una carilla de cerámica

con sistemas especiales de las zonas corregidas, si bien es preferible realizar una nueva cocción de brillo en el horno antes del cementado definitivo de la restauración²⁰.

Clínica

Según la experiencia del autor, para el éxito del tratamiento es también muy importante establecer un régimen estricto de revisiones. Realizar un ajuste oclusal correcto para que las cargas oclusales se distribuyan uniformemente en las superficies masticatorias es muy difícil, pero resulta indispensable¹⁵⁻¹⁷ para evitar sobrecargas.

Después de una larga sesión de tallado selectivo (más de 15 min) resulta prácticamente imposible controlar correctamente el ajuste. La sucesión de pruebas y el constante «quita y pon» de la restauración pueden alterar la posición de reposo de los dientes pilares. El resultado pueden ser unos contactos oclusales demasiado intensos que, a diferencia de lo que ocurre con el metal, que es dúctil, no se «autoajustan», sino que conducen a un sobreesfuerzo por la presión de Hertz y provocan desconchados¹⁵⁻¹⁷. Por esa razón es necesario llevar a cabo un seguimiento y control exhaustivos de la oclusión. El paciente debería volver a la consulta para realizar dicho control al día siguiente, a la semana y al mes del cementado, aunque no tenga molestias. También es un requisito indispensable comprobar la oclusión con las cintas oclusales Shimstock.

Eliminación de defectos

Si a pesar de todos los esfuerzos y precauciones se produce un fracaso, es necesario valorarlo y considerar las

posibles soluciones junto con el paciente. Las figuras 7a a 7c muestran ejemplos de desconchados de diversa consideración. Las pérdidas mínimas de material se pueden alisar y pulir sin problemas; en el caso de pérdidas más importantes, en cambio, es necesario determinar si son relevantes para la estética o lo son para la función. En ambos tipos de fracturas es necesario realizar las comprobaciones pertinentes para evitar daños mayores. Si la pérdida es muy acusada hay que decidir juntamente con el paciente si conviene renovar la prótesis por completo (tabla 1). El autor por lo general renueva restauraciones de menos de dos años de antigüedad cuya estética es difícil de recuperar por medio de una reparación. Por otro lado, siempre existe la posibilidad de reparar defectos mayores de forma duradera con ayuda de sistemas adhesivos y de composite de recubrimiento, o con una carilla^{8,13}.

Conclusiones para la consulta

Para evitar la aparición de fracturas cohesivas dentro del recubrimiento en prótesis con estructura de dióxido de zirconio hay que tener en cuenta principalmente los siguientes aspectos:

- Realizar una preparación adaptada al material.
- Llevar a cabo una manipulación adaptada al material (cocción, refrigeración por agua, fresas de diamante de grano fino).
- Diseño de la estructura encaminado a ofrecer un buen soporte al recubrimiento.
- Ajuste oclusal minucioso.

Teniendo en cuenta estos criterios debería ser posible minimizar la tasa de desconchados.

Bibliografía

1. Ashby MF, Jones DRH. Werkstoffe 1: Eigenschaften, Mechanismen, Anwendungen. 3. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2006.
2. Beuer F, Schweiger J, Eichberger M, Kappert HF, Gernet W, Edelhoff D. High-strength CAD/CAM-fabricated veneering material sintered to zirconia copings – A new fabrication mode for all-ceramic restorations. *Dent Mater* 2009;25:121-128.
3. Bonfante EA, Coelho PG, Navarro JM et al. Reliability and failure modes of implant-supported Y-TZP and MCR three unit bridges. *Clin Implant Dent Relat Res* 2009;11:EPub, DOI 10.1111/j.1708-8208.2009.00156.x.
4. Coelho PG, Bonfante EA, Silva NR, Rekow ED, Thompson VP. Laboratory simulation of Y-TZP all-ceramic crown clinical failures. *J Dent Res* 2009;88:382-386.
5. Coelho PG, Silva NR, Bonfante EA, Guess PC, Rekow ED, Thompson VP. Fatigue testing of two porcelain-zirconia all-ceramic crown systems. *Dent Mater* 2009;25:1122-1127.
6. Coldea A, Stephan M, Tholey M, Thiel N. Untersuchung des Einflusses verschiedener Keramikschleifersysteme auf Zirkonoxid. *Quintessenz Zahntech* 2009;35:470-483.
7. Danzer R, Lube T, Supancic P, Damani R. Fracture of ceramics. *Adv Eng Mater* 2008; 10:275-298.
8. Dimaczek B, Eschbach S, Kern M. Wiederherstellung einer Zirkonoxidkeramikbrücke nach Verblendungsfraktur mittels direkter adhäsiver Befestigung der Frakturscherbe. *Quintessenz* 2009;60:33-39.
9. Eser A, Bezold A, Wiesner CV, Vollmann M. Optimization of residual stresses on all-ceramic fixed partial dentures using Finite Element Analysis with viscoelastic material modelling. *Interner Forschungsbericht DeguDent. Anwenderbrief Cercon 1/2009.*
10. Fischer H, Weber M, Marx R. Lifetime prediction of all-ceramic bridges by computational methods. *J Dent Res* 2003;82:238-242.
11. Fischer J, Stawarczyk B, Trottmann A, Hämmerle CH. Impact of thermal properties of veneering ceramics on the fracture load of layered Ce-TZP/A nanocomposite frameworks. *Dent Mater* 2009;25:326-330.
12. Fischer J, Stawarczyk B, Trottmann A, Hämmerle CH. Impact of thermal misfit on shear strength of veneering ceramic/zirconia composites. *Dent Mater* 2009;25:419-423.
13. Kern M, Eschbach S. Kleben. Neue Wege in der Prothetik. *Zahnärztl Mitt* 2008;98: 3392-3398.
14. Kerschbaum T, Faber FJ, Noll FJ et al. Komplikationen von Cercon-Restaurationen in den ersten fünf Jahren. *Dtsch Zahnärztl Z* 2009;64:81-89.
15. Kim B, Zhang Y, Pines M, Thompson VP. Fracture of porcelain veneered structures in fatigue. *J Dent Res* 2007;86:142-146.
16. Kim JW, Kim JH, Janal MN, Zhang Y. Damage maps of veneered zirconia under simulated mastication. *J Dent Res* 2008;87:1127-1132.
17. Kim JW, Kim JH, Thompson VP, Zhang Y. Sliding contact fatigue damage in layered ceramic structures. *J Dent Res* 2007;86:1046-1050.
18. Larsson C, Vult van Steyern P, Sunzel B, Nilner K. All-ceramic two-to five-unit implant-supported reconstructions: A randomized, prospective clinical trial. *Swed Dent J* 2006;30:45-53.
19. Lee JJ, Kwon J-Y, Chai H, Lucas PW, Thompson VP, Lawn BR. Fracture modes in human teeth. *J Dent Res* 2009;88:224-228.
20. Luthardt RG, Holzhüter M, Sandkuhl O et al. Reliability and properties of ground Y-TZP-zirconia ceramics. *J Dent Res* 2002;81:487-491.
21. Manicone PF, Iommetti PF, Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: Basic properties and clinical applications. *J Dent* 2007;35:819-826.
22. Nothdurft FP, Pospiech P. Clinical evaluation of posterior bridges made from zirconia – Five years results. *J Dent Res* 2006;85(Spec Iss C):312.
23. Pospiech P. Vollkeramische Restaurationen: Werkstoffkundliche und klinische Aspekte. In: Gernet W, Biffar R, Schwenzer N, Ehrenfeld M (Hrsg). *Zahnärztliche Prothetik*. 3. Aufl. Stuttgart: Thieme, 2007:67-83.
24. Pospiech P, Mittermeier J, Rammelsberg P. Spannungsverteilung in vollkeramischen Klebebrücken: eine dreidimensionale Finite-Elemente-Analyse. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999;54:366-371.
25. Pospiech P, Rammelsberg P, Goldhofer G, Gernet W. All-ceramic resin-bonded bridges: A 3-dimensional finite element analysis study. *Eur J Oral Sci* 1996;104:390-395.
26. Reich S, Lohbauer U. Abplatzungen bei einer umfangreichen vollkeramischen Rehabilitation – Ursachendiskussion und Therapieoption. *Aesthet Zahnmed* 2008;11:34-38.
27. Rosentritt M, Steiger D, Behr M, Handel G, Kolbeck C. Influence of substructure design and spacer settings on the in-vitro performance of molar zirconia crowns. *J Dent* 2009;37:978-983.
28. Schmitter M, Rammelsberg P. Untersuchungen zum Chipping-Verhalten von 4 verschiedenen Verblendmaterialien. *Interner Forschungsbericht DeguDent. Anwenderbrief Cercon 1/2009.*
29. Swain MV. Unstable cracking (chipping) of veneering porcelain on all-ceramic dental crowns and fixed partial dentures. *Acta Biomater* 2009;5:1668-1677.
30. Tholey MJ, Swain MV, Thiel N. SEM observations of porcelain Y-TZP interface. *Dent Mater* 2009;25:857-862.
31. Tholey MJ, Waddell JN, Swain MJ. Influence of the bonder on the adhesion of porcelain to machined titanium as determined by the strain energy release rate. *Dent Mater* 2007; 23:822-828.