

# Incidencia de chirridos con el uso de cerámica en cerámica BIOLOX® Delta en artroplastia de cadera

GERARDO ZANOTTI, MARTÍN BUTTARO, FERNANDO COMBA Y FRANCISCO PICCALUGA

*Centro de Cadera, Instituto de Ortopedia y Traumatología "Carlos E. Ottolenghi", Hospital Italiano de Buenos Aires*

## RESUMEN

**Introducción:** La superficie cerámica-cerámica causa complicaciones, como la fractura y la generación de ruidos articulares (*squeaking*). Este estudio muestra nuestra experiencia con la utilización del compuesto de matriz alúmina (cerámica Delta).

**Materiales y Métodos:** Se evaluaron, en forma retrospectiva, 109 caderas, 97 pacientes, con edad promedio de 49 años (rango 17-77). Ciento dos de estas caderas fueron cirugías primarias, mientras que 7 fueron revisiones. Todos los componentes acetabulares fueron Pinnacle® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, EE.UU). La cerámica utilizada en todos los casos fue BIOLOX® Delta (Ceram Tec AG, Plochingen, Alemania).

**Resultados:** El seguimiento fue de 37 meses (rango 24-50). Se realizó la medición radiográfica de la anteversión, por el método de Ackland (rango 1°-35°), la inclinación (rango 22°-67°), el diámetro acetabular (rango 48-62 mm), el tamaño de la cabeza femoral (88: 36 mm y 21: 28 mm) y la lateralización antes de la cirugía y después de ella. Se evaluó a todos los pacientes con el puntaje de Harris, los resultados fueron, en su mayoría, muy buenos y algunos, buenos. Las complicaciones fueron: una luxación (0,91%), una subluxación protésica (0,91%), una infección aguda (0,91%), una fractura periprotésica (0,91%), una rotura del inserto de cerámica (0,91%). Ningún paciente refirió ruidos o una cadera chirriante.

**Conclusión:** En esta serie, no se reportaron episodios de chirridos, pese a la gran variación en la anteversión y la inclinación del componente acetabular. Creemos que la composición y el diseño de la cerámica de tercera generación determinarían un menor índice de chirridos que las de segunda generación.

**PALABRAS CLAVE:** Artroplastia total de cadera. Cerámica. Chirridos.

**INCIDENCE OF SQUEAKING USING THIRD-GENERATION BIOLOX® DELTA CERAMIC ON CERAMIC BEARING SURFACES**

## ABSTRACT

**Background:** Squeaking is the most frequently related complication with ceramic on ceramic total hip arthroplasty. Third generation Delta ceramics present improved mechanical properties and so far squeaking has not been reported with this bearing surface. The aim of this study was to analyze the incidence of squeaking with the use of third-generation ceramics.

**Methods:** This study included 109 hips in 97 patients, with an average age of 49 years (range 17-77 years), an average body mass index of 22.3 (range 19-48). One hundred and two hips were primary total hip arthroplasties, whereas 7 were revisions. Femoral and acetabular components were Pinnacle® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, USA). The ceramic used was BIOLOX® Delta (Ceram Tec AG, Plochingen, Germany) in all the cases.

**Results:** Average follow-up was 37 months (range 24-50 months). Radiographic assessment of the anteversion was made with the Ackland method (range 1°-35°). Inclination (range 22°-67°), acetabulum diameter (range 48-62), size of the femoral head (88 = 36 mm and 21 = 28 mm) and pre- and post-operative offset were also evaluated. We observed 2 dislocations, 1 acute superficial infection, 1 periprosthetic fracture and 1 fracture of the ceramic acetabular insert due to incomplete seating of the acetabular liner. No patient referred noise or a squeaking hip.

**Conclusion:** In this series, squeaking was not observed although the range of anteversion and inclination of the cups was widely variable. Due to its composition and design Delta Ceramic components may have a lower rate of squeaking than second-generation ceramics.

Recibido el 5-8-2013. Aceptado luego de la evaluación el 29-9-2013.

Correspondencia:

Dr. GERARDO ZANOTTI  
gerardozanotti@gmail.com

**KEY WORDS: Total hip arthroplasty. Implant. Ceramic bearing.**

## Introducción

La superficie cerámica-cerámica se utiliza hace más de 30 años y tiene un desgaste mucho menor que las otras superficies, permite usar cabezas protésicas de mayor tamaño, las partículas generadas son inertes y no provocarían una respuesta inflamatoria.<sup>1-4</sup> Hamadouche<sup>1</sup> presentó una serie con una supervivencia superior al 85% a los 18,5 años de seguimiento.

Algunas de las complicaciones relacionadas al uso de esta superficie son la rotura, con un rango que oscila entre el 0,005% y el 0,02%,<sup>1</sup> la generación de chirridos (*squeaking*), el desgaste lineal (*stripe wear*), la sobrecarga periférica (*rim loading*).

El fenómeno de *squeaking* se define como la sensación de chirrido o chasquido producido por la prótesis total de cadera durante el movimiento, y este tiene que ser reproducible en forma voluntaria. Este fenómeno se puede ver tanto en superficies metal-metal,<sup>5</sup> como en cerámica-cerámica. Su incidencia en la superficie cerámica-cerámica va del 0,48%<sup>6</sup> al 20,9%,<sup>7</sup> y se manifiesta entre los 8 y 14 meses posteriores a la cirugía.<sup>5-14</sup>

El objetivo de este estudio es analizar la incidencia de chirridos con el uso de superficies cerámica en cerámica BIOLOX® Delta.

## Materiales y Métodos

Entre abril de 2006 y julio de 2009, se estudiaron, en forma retrospectiva, 109 reemplazos totales de cadera con superficie cerámica-cerámica en 97 pacientes (43 mujeres y 54 hombres), con una edad promedio de 49 años (rango de 17 a 77 años) y un seguimiento de 37 meses (rango de 24 a 50 meses). Nueve de ellos fueron sometidos a reemplazo total de cadera bilateral en el mismo acto quirúrgico, los procedimientos estuvieron a cargo de tres cirujanos y el abordaje utilizado en todos los casos fue posterolateral. En la serie, se incluyeron múltiples diagnósticos y se consideraron la edad, el sexo, el índice de masa corporal y el diagnóstico. El índice de masa corporal promedio era de 22,3 (rango de 19 a 48) (Tabla 1).

Todos los componentes acetabulares utilizados fueron Pinnacle® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, EE.UU.) y los componentes femorales fueron 74 no cementados Corail® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, EE.UU.), 29 cementados C-STEM® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, EE.UU.) y 6 no cementados de fijación metafisaria S-ROM® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, EE.UU.). La cerámica utilizada fue de tercera generación BIOLOX® Delta (Ceram Tec AG, Plochingen, Alemania) en tamaños de 28 mm y 36 mm (Tabla 2).

Los pacientes fueron evaluados a los 15, 45 y 90 días, al año de la cirugía y, luego, una vez por año, mediante el puntaje de Merle D'Aubigné-Postel.

**Tabla 1.** Características de los pacientes

Sexo	
Femenino	43
Masculino	54
Edad	49 (17-77)
Índice de masa corporal	22,3 (19-48)
Diagnóstico	
Artrosis	53
Necrosis ósea avascular	17
Displasia	15
Luxación congénita	7
Fracturas	7
Aflojamiento protésico	3
Otros	4
Bilaterales en el mismo acto	9
Seguimiento (meses)	37 (24-50)
Puntaje de Merle D'Aubigné-Postel posoperatorio	5,84 (dolor), 5,85 (movilidad), 5,83 (marcha)

## Evaluación radiológica

La evaluación radiológica se llevó a cabo con radiografías de ambas caderas de frente y perfil, en forma manual. Se midieron la anteversión, la inclinación y la lateralización antes de la cirugía y después de ella. La anteversión fue medida por el método de Ackland.<sup>15</sup> El tamaño de los componentes acetabulares, femorales y de la cabeza se tomó de la historia clínica. No se midió el desgaste de la superficie articular. También, se evaluó la presencia de radiolucidez en ambos componentes, así como su migración.

## Resultados

En las visitas periódicas y en forma telefónica, se realizaron cuestionarios para detectar la presencia de algún ruido, chirrido o chasquido durante el movimiento. La tasa de supervivencia a los 37 meses de seguimiento, tomando como punto final la revisión protésica por cualquier causa, fue del 98,2%.

**Tabla 2.** Componentes femorales utilizados

Tallos	
Corail®	74 (68%)
C-STEM®	29 (26%)
S-ROM®	6 (6%)
Componente acetabular: Pinnacle®	100%
Tamaño de la cabeza	
36	88 (81%)
28	21 (19%)
Abordaje: Posterior	100%

No se detectaron fallas radiológicas, ni migraciones, osteólisis o cambios en el ángulo de los componentes acetabulares y tampoco radiolucidez al examinar los componentes femorales.

La anteversión promedio fue de  $17^\circ$  (rango de  $1^\circ$  a  $35^\circ$ ) y la inclinación promedio, de  $43^\circ$  (rango de  $22^\circ$  a  $67^\circ$ ). Analizando el índice de seguridad de Lewinnek,<sup>16</sup> se detectó que 38 caderas (35%) se encontraban fuera de este índice. Se entiende que los componentes acetabulares que están fuera de “la zona segura” tienen más posibilidades de sufrir una complicación (la “zona segura” comprende  $40^\circ \pm 10^\circ$  de inclinación y  $15^\circ \pm 10^\circ$  de anteversión) (Fig. 1).

Se midió la lateralización antes de la cirugía y después de ella, y se observó que el *offset* no fue restituido en 36 pacientes y que, en el resto, fue restituido o aumentado, comparado con la cadera contralateral.

Se registraron las siguientes complicaciones: una infección aguda tratada con una limpieza quirúrgica con conservación de la prótesis y seguida de tratamiento antibiótico intravenoso, con buena evolución, sin signos clínicos ni radiológicos de aflojamiento a los 44 meses de seguimiento. Hubo dos revisiones en la serie, una por rotura del inserto de cerámica y otra por luxación (1,8%). La rotura del inserto acetabular sucedió como consecuencia de su mal asentamiento. En este caso, el paciente nunca refirió ruido articular antes de la rotura del inserto (a los 20 meses de la cirugía) y, luego de la rotura, refería una sensación de tipo “molienda”. Se realizó el cambio del inserto acetabular y la cabeza femoral, la mayor cantidad de partículas, manteniendo la misma superficie. Luego de 30 meses de seguimiento, el paciente no refiere ningún ruido y su evolución es buena (Fig. 2). No se produjeron fracturas de las cerámicas durante la colocación intraquirúrgica del inserto, ni tampoco del componente cefálico.

Hubo dos episodios de luxación en una paciente que fue sometida a una revisión protésica (un episodio por caída de su propia altura y el otro por realizar movimientos no recomendados). Con reeducación kinesiológica y pautas de alarma, desde hace 2 años, la paciente no refiere ningún episodio nuevo. Nunca comunicó la presencia de chirridos.

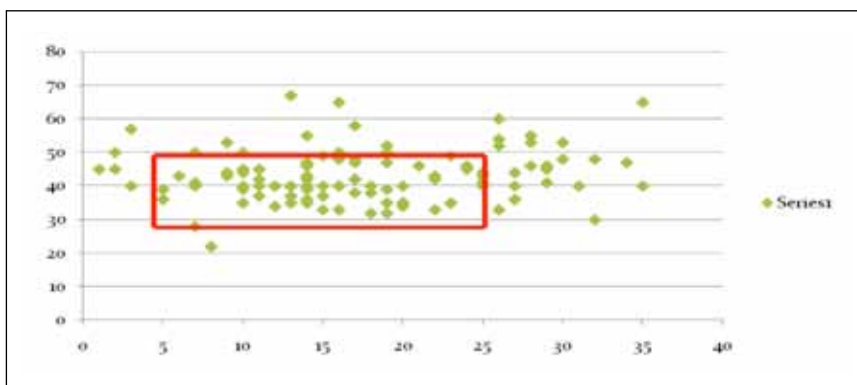
Se efectuó una revisión del componente acetabular por mala orientación, lo que producía episodios de subluxación protésica. El diagnóstico inicial de la paciente era displasia de cadera izquierda y secuela de poliomielitis homolateral. En la radiografía posoperatoria, se midió el componente acetabular y se halló que tenía una inclinación de  $65^\circ$  y una anteversión de  $16^\circ$ . Al concurrir al control anual, se detectó subluxación protésica que ponía en contacto el tallo femoral con la copa metálica, por lo que se decidió realizar la revisión del componente acetabular (Fig. 3). La paciente nunca refirió chirridos. Luego de la revisión, se colocó el componente acetabular a  $50^\circ$  de inclinación y  $10^\circ$  de anteversión (Fig. 4) y, a los 24 meses de esta revisión, la evolución es buena y no refiere ningún ruido.

Dentro de la serie, se produjo una fractura periprotésica intraquirúrgica, incompleta, metafisaria, que fue solucionada mediante osteosíntesis con una lazada de alambre.

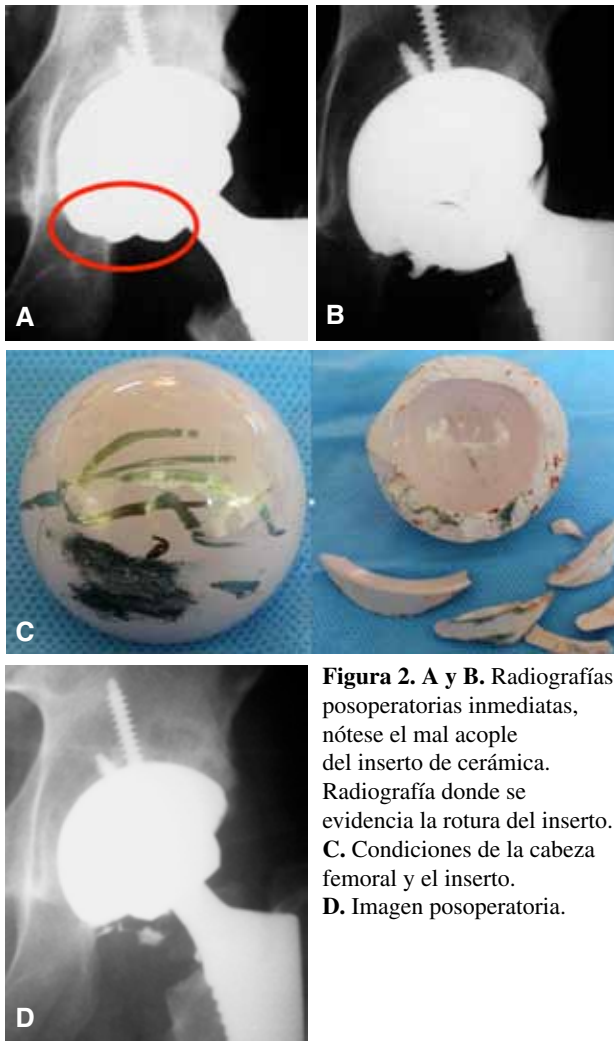
Los pacientes fueron evaluados con el puntaje de Merle D'Aubigné-Postel, que arrojó un promedio de 5,84 para dolor, 5,85 para movilidad y 5,83 para la marcha (Tabla 1). Ningún paciente comunicó ruidos o chirridos.

## Discusión

En la bibliografía, se describen muchas causas para explicar el fenómeno de chirridos o ruidos en las superficies duras. Algunas de ellas son el diseño protésico (presencia de anillos metálicos en el liner acetabular, así como la geometría del tallo), la posición del componente acetabular, el *impingement* femoroacetabular, la presencia de cuerpos libres intraarticulares, la rotura del inserto o la cabeza, *offset* insuficiente, el fenómeno de pistoneo (*slip and click*), la alteración de la lubricación de la superficie, etc. (Tabla 3).<sup>5-14,17-20</sup> Lo cierto es que no hay una causa determinada para este fenómeno y no es única, sino que sería multifactorial. El objetivo de este trabajo fue evaluar la incidencia de *squeaking* de las cerámicas de tercera generación, analizando todos los factores descritos como posibles causas que generan este fenómeno.



**Figura 1.** “Zona segura” definida por el Índice de Lewinnek.<sup>16</sup> El 35% de la serie se encuentra fuera de esta zona.

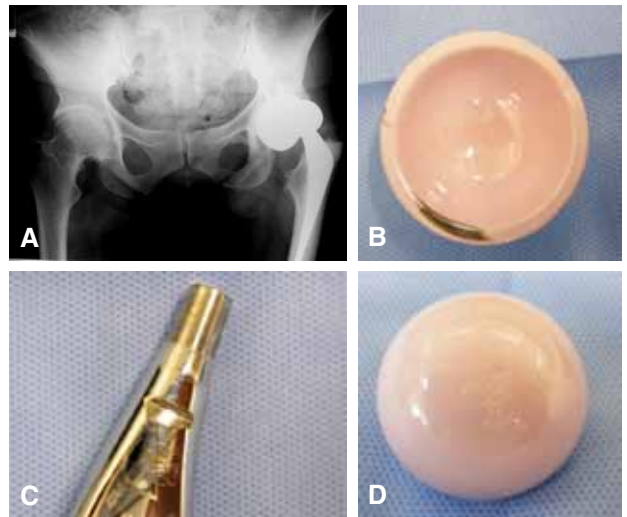


**Figura 2.** A y B. Radiografías posoperatorias inmediatas, nótese el mal acople del inserto de cerámica. Radiografía donde se evidencia la rotura del inserto. C. Condiciones de la cabeza femoral y el inserto. D. Imagen posoperatoria.

Las limitaciones de este trabajo son: es una serie con pocos pacientes (109), sin grupo control, con un seguimiento corto (mínimo de 24 meses y máximo de 50 meses) y la utilización de 3 tipos de tallos femorales distintos, pero esto podría servir para estudiar el comportamiento de esta generación de cerámicas ante la variación de la geometría de los componentes femorales.

La inclinación medida en esta serie fue de 43° (rango de 22° a 67°), 14 componentes acetabulares tenían una inclinación >50°, y se encontraban fuera del índice de seguridad de Lewinnek<sup>16</sup> (Fig. 1).

Walter<sup>6</sup> plantea como hipótesis del fenómeno de *squeaking* la mala orientación del componente acetabular, con una incidencia de *squeaking* del 0,47%. Al estudiar la anteversión del grupo con *squeaking* detectó que solo el 35% de los componentes acetabulares estaba dentro del índice de seguridad de Lewinnek.<sup>16</sup>



**Figura 3.** A. Radiografía posoperatoria que muestra una subluxación. B-D. Inserto y cabeza femoral dañados como consecuencia del choque entre el tallo y el *liner*, nótese la hendidura en el cuello del componente femoral.



**Figura 4.** Radiografía posoperatoria luego de revisar el componente acetabular.

La mala orientación acetabular generaría el choque de ambos componentes con rotura de las cerámicas, subluxación y microseparación. Las superficies fueron mayormente BIOLOX® Forte (Ceramtec, Alemania), Alumina, Demarquest (Francia) y Alumina Matrix (Ceramtec, Alemania). En esta serie, el 35%, es decir 38 componentes acetabulares, se encuentran fuera del índice de seguridad de Lewinnek,<sup>16</sup> no se detectaron chirridos en ninguno de ellos (Fig. 1). En un caso que fue revisado, se comprobó la presencia de choque entre los componentes protésicos, con fractura del inserto y la cabeza de cerámica (Fig. 3). Este caso tenía una excesiva inclinación y anteversión del componente acetabular. La paciente nunca refirió el fenómeno de chirridos.

Toni<sup>21</sup> observó partículas de cerámica en el líquido articular aspirado de pacientes que presentaban caderas con chirridos, y concluyó en que este fenómeno es un síntoma

precoz de la rotura (microfracturas) de las superficies de cerámica.

El diseño protésico es una de las causas posibles de *squeaking*. Horzack<sup>22</sup> analizó 6 componentes Trident®, Stryker, y observó que el 60% presentaba *impingement* entre el cuello femoral y el anillo de titanio del *liner* y el 100%, desgaste lineal, lo que generaba cuerpos libres articulares. El componente acetabular utilizado en esta serie fue Pinnacle® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, EE.UU.), no tiene anillo metálico posterior en su inserto, lo que disminuiría el riesgo de choque de los componentes protésicos, aumentando el rango de movilidad y permitiendo utilizar cerámicas de mayor espesor y cabezas de mayor tamaño.

La cerámica utilizada fue BIOLOX® Delta (Ceram Tec AG, Plochingen, Alemania), su composición tiene un 82% de alúmina y un 17% de circonio. El 1% restante es óxido de cromo (0,5%) agregado para otorgarle dureza y características de desgaste, y cristales de estroncio (0,5%) agregados para lograr dureza y difundir la energía de rotura.<sup>4</sup> Las partículas son de 0,8 µm, mucho más pequeñas que las de alúmina de 1,5 µm,<sup>4</sup> lo que disminuiría la rugosidad y mejoraría el índice de fracturas. Asimismo, mejorarían las propiedades mecánicas, lo que permitiría usar cabezas más grandes en diámetros acetabulares menores. Estudios comparativos entre las cerámicas Delta y las cerámicas Forte, llevados a cabo en laboratorio, demuestran que, utilizando cabezas de 28 mm de diámetro de cerámica Delta, el desgaste disminuye de 1,84 mm<sup>3</sup> a 0,16 mm<sup>3</sup>.<sup>5</sup> Todas estas características juntas determinarían que esta cerámica sea mejor que los otros compuestos disponibles. Yang<sup>2</sup> sugiere que este compuesto mejoraría el índice de *squeaking*.

El componente acetabular y el femoral tendrían un papel de amplificación de las vibraciones generadas por la superficie cerámica-cerámica. Walter<sup>6</sup> notó que una copa de titanio con el inserto bien situado no generaba vibraciones dentro del rango audible por el ser humano. Langdown<sup>23</sup> reportó que, en caso de un inserto Trident® (Stryker, Mahwah, NJ, EE.UU.) mal situado, las vibraciones originadas pueden llegar a valores audibles. Jarret,<sup>12</sup> analizando la misma copa y teniendo en cuenta que dos tamaños de prótesis comparten el mismo inserto, reporta que los insertos en copas de diámetro menor son los que generan ruidos, esto se debería a que, al colocar el inserto, la copa de menor tamaño se deformaría y, de esta manera, predispondría a una mala posición.

Los componentes Pinnacle® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, EE.UU.) tienen un inserto para cada tamaño de copa, pero Squire<sup>10</sup> estudió la deformación de los componentes acetabulares durante su colocación y encontró que el 90,5% sufre una deformación de ±0,16 mm, lo que haría técnicamente más difícil la colocación del inserto.

Los componentes femorales de titanio también tienen la propiedad de vibrar y amplificar las emisiones de ruidos generada por el par de fricción cerámica-cerámica. Rodríguez<sup>3</sup> compara la incidencia de chirridos entre series de diferentes autores con componentes acetabulares Trident®, y con tallos OmniFit® y Accolade® (Striker, Mahwah, NJ, EE.UU.).

Al detectar que las series que utilizaron tallo Accolade® tenían un índice de *squeaking* superior al de las series con tallos OmniFit®, llegó a la conclusión de que los tallos Accolade® por sus materiales y características geométricas amplificarían más las vibraciones.

**Tabla 3.** Resultados en la bibliografía

Autor	Pacientes	Cerámica	Seguimiento	Incidencia	Observaciones
Walter y cols. <sup>6</sup>	2397 ATC y 319 revisiones vs control	Alúmina V40	8 años	0,47%	Orientación del componente acetabular. <i>Impingement</i>
Capello y cols. <sup>20</sup>	475 ATC	Alúmina V40	8 años	0,8%	Multifactorial (no definida)
Jarret y cols. <sup>12</sup>	159 ATC	Alúmina V40	6 años	10,7%	Desconocida. Multifactorial. Alteraciones de la lubricación
Keurentjes y cols. <sup>7</sup>	43 ATC	Alúmina V40	6 años	20,9%	Dejaron su uso. Largo del cuello, microseparación, alteración de la lubricación
Restrepo y cols. <sup>13</sup>	1056 ATC	Alúmina V40	1.9 años	2,7	Sin relación con la orientación. Causas desconocidas
Hamilton y cols. <sup>4</sup>	264 ATC vs control	BIOLOX® Delta	2 años	0%	Una rotura del <i>liner</i> intraoperatoria y una un año después

ATC = artroplastia total de cadera.

En nuestra serie, se utilizaron 74 componentes femorales no cementados Corail® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, EE.UU.), 29 componentes femorales cementados C-STEM® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, EE.UU.) y 6 componentes femorales no cementados de fijación metafisaria S-ROM® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, EE.UU.); no hay artículos publicados que demuestren la participación de estos tallos en la generación o amplificación de *squeaking*. Pero esta serie podría mostrar cómo se comporta la cerámica Delta antes distintos tallos.

Hamilton,<sup>4</sup> en un trabajo multicéntrico, compara el par articular cerámica-polietileno con cerámica-cerámica. La cerámica utilizada en este estudio fue BIOLOX® Delta (Ceram Tec AG, Plochingen, Alemania). No comunica ningún caso de *squeaking*. Las complicaciones informadas son la rotura de dos *liners* de cerámica (una intraquirúrgica y otra posquirúrgica).

Lombardi<sup>5</sup> publicó su experiencia con el empleo de cerámica BIOLOX® Delta en 64 pacientes que fueron sometidos a artroplastia total de cadera utilizando superficie con cabezas de cerámica BIOLOX® Delta en insertos acetabulares BIOLOX® Forte y los comparó con un grupo control de polietileno de alto cruzamiento con cabezas de cerámica BIOLOX® Forte. Este autor llegó a la conclusión de que el par cerámica-cerámica es una opción válida en pacientes jóvenes, no comunica ningún fenómeno de *squeaking*, pero informa que las fracturas siguen siendo una de las principales complicaciones de las cerámicas, aunque las cerámicas BIOLOX® Delta, por sus características, tendrían menor índice de roturas. Algunos autores proponen que la utilización de cerámicas de distintos tipos sería una de las causas de *squeaking*<sup>24</sup> y, como Lombardi<sup>5</sup> refiere, el corto seguimiento de la serie no permite evaluar el desgaste y las complicaciones en el futuro.

En marzo de 2012, los autores de este trabajo comunicaron un caso de chirrido con el uso de cerámica-cerámica BIOLOX® Delta (Ceram Tec AG, Plochingen, Alemania) asociado al tallo Corail® (DePuy Orthopaedics, Warsaw, Indiana, EE.UU.). Se trata de una mujer de 55 años de edad, positiva para el virus de la inmunodeficiencia humana y con necrosis ósea bilateral, tratada con reemplazo total de cadera bilateral en un tiempo. La paciente refirió la aparición de este fenómeno a los 23 meses de la cirugía, solo en la cadera derecha y reproducible en forma voluntaria.

El único dato relevante en la evaluación radiológica era la posición del componente acetabular con una inclinación de 62°. Cabe aclarar que esta paciente no pertenece a la serie en estudio. Sin embargo, plantea la duda de si, debido a las características de este material, no solo ayuda a disminuir la prevalencia de este fenómeno, sino también a retrasar su aparición.

En este estudio, buscamos mostrar los resultados obtenidos con la utilización de cerámicas de tercera generación BIOLOX® Delta (Ceram Tec AG, Plochingen, Alemania). No observamos fenómenos de *squeaking*, a pesar de haber usado 3 tallos femorales con distintos diámetros cefálicos, implantados por 3 cirujanos diferentes, con una alta variabilidad en la orientación acetabular.

## Conclusiones

La composición, la estructura y el diseño de la cerámica BIOLOX® Delta en combinación con la copa Pinnacle® y los tallos utilizados podrían ser responsables de la baja prevalencia de esta complicación o de la aparición más tardía de este fenómeno. Sin embargo, la rotura puede seguir siendo una de las complicaciones más temidas.

## Bibliografía

1. Hamadouche D, Nich C, Bizot P, Meunier A, Nizard R, Sedel L. Fracture of ceramic bearing: history and present status. *Clin Orthop Relat Res* 2003;417:19-26.
2. Yang CC, Kim RH, Dennis DA. The squeaking hip: a cause for concern- disagrees. *Orthopedics* 2007;30:739-42.
3. Rodriguez JA, Dela Valle A, McCook MS. Squeaking in total hip replacement: a cause for concern. *Orthopedics* 2008;31(9):874-7.
4. Hamilton WG, McAuley JP, Dennis DA, Murphy JA, Blumenfeld TJ, Politi J. THA with Delta ceramic on ceramic. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468(2):358-66.
5. Lombardi AV Jr., Berend KR, Seng BS, Clarke IC, Adams JA. Delta ceramic-on-alumina ceramic articulation in primary THA. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468:367-74.
6. Walter WL, Insley GM, Walter WK, Tuke MA. Edge loading in third generation alumina ceramic-on-ceramic bearings: strip wear. *J Arthroplasty* 2004;19:402-13.
7. Keurentjes JC, Kuipers RM, Wever DJ, Schreurs W. High incidence of squeaking in THAs with alumina ceramic-on-ceramic bearings. *Clin Orthop Relat Res* 2008;466:1438-43.

8. **Dennis DA, Komistek RD, Northcutt EJ, Ochoa JA, Ritchie A.** "In vivo" determination of hip joint separation and the forces generated due to impact loading conditions. *J Biomech* 2001;34:623-9.
9. **Nevelos J, Inghan E, Doyle C, Streicher R, Nevelos A, Walter W, et al.** Microseparation of the centers of alumina-alumina artificial hip joints during simulator testing produces clinically relevant wear rates and patterns. *J Arthroplasty* 2000;15:702-9.
10. **Squire M, Griffin WJ, Mason JB, Peindl R, Odum S.** Acetabular component deformation with press-fit fixation. *J Arthroplasty* 2006;21(6-Suppl 2):72-7.
11. **Barrack RL, Thornberry RL, Ries MD, Lavernia C, Tozakoglou E.** The effect of components design on range of motion to impingement in total hip arthroplasty. *Instr Course Lect* 2001;50:275-80.
12. **Jarrett CA, Ranawat AS, Bruzzone M, Blum YC, Rodriguez JA, Ranawat CS.** The squeaking hip: a phenomenon of ceramic-on-ceramic total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91(6):1344-9.
13. **Restrepo C, Parvizi J, Kurtz SM, Sharkey PF, Hozack Wj, Rothman RH.** The noisy ceramic hip: components malpositioning the cause? *J Arthroplasty* 2001;23:643-9.
14. **Walter WL, O'Toole GC, Walter WK, Elis A, Zicat BA.** Squeaking in ceramic-on-ceramic hips: the importance of acetabular components orientation. *J Arthroplasty* 2007;379:22-8.
15. **Ackland MK, Bourne WB, Uthoff HK.** Anteversion of the acetabular cup. Measurement of angle after total hip replacement. *J Bone Joint Surg Br* 1986;68(3):409-13.
16. **Lewinnek GE, Lewis JL, Tarr R, Compere CL, Zimmerman JR.** Dislocations After total hip-replacement arthroplasties. *J Bone Joint Surg Am* 1978;60:217.
17. **Streicher RM, Semlitsch M, Schoen R, Weber H, Rieker C.** Metal-on-metal articulation for artificial hip joints: laboratory study and clinical results. *Proc Inst Mech Eng* 1996;210:223-32.
18. **Krushell RJ, Burke DW, Harris WH.** Range of motion in contemporary total hip arthroplasty. The impact modular head-neck components. *J Arthroplasty* 1991;6:97-101.
19. **Chevillotte C, Trousdale RT, Chen Q, Guyen O, An Kai-Nam.** "Hip Squeaking" A biomechanical study of ceramic-on-ceramic bearing surfaces. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468(2):345-50.
20. **Capello WN, D'Antonio JA, Feinberg JR, Manley MT, Naughton M.** Ceramic-on-ceramic total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2008;23:39-43.
21. **Toni A, Traina F, Stea S, Sudanese A, Visentin M, Bordini B, et al.** Early diagnosis of ceramics liner fracture. Guidelines based on a 12 year clinical experience. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88(Suppl 4):55-63.
22. **Horzack WJ, Restrepo C, Parvizi J, Purtill JJ, Sharkey PF, Rothman RH.** Noisy ceramic hip: is a components malpositioning the problem? Presented at: 16<sup>th</sup> Annual Meeting of the American Association of Hip and Knee Surgeons; November 3-5, 2006; Dallas, Texas.
23. **Langdown AJ, Pickard RJ, Hobbs CM, Clarke HJ, Dalton DJ, Grover ML.** Incomplete seating of the liner with the Trident acetabular system: a cause for concern? *J Bone Joint Surg Br* 2007;89(3):291-5.
24. **Morlock M, Nassutt R, Janssen R, Willmann G, Honl M.** Mismatched wearcouple zirconium oxide and aluminum oxide in total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2001;16:1071-4.
25. **Buttaro MA, Zanotti G, Comba FM, Piccaluga F.** Squeaking in a Delta ceramic-on-ceramic uncemented total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2012;27(6):1257-9.
26. **Rieker CB, Schön R, Konrad R, Liebentritt G, Gnepf P, Shen M, et al.** Influence of the clearance on in-vitro tribology of large diameter metal-on-metal articulations pertaining to resurfacing hip implants. *Orthop Clin North Am* 2005;36(2):135-42.