



## ORIGINAL

## Artroplastias metal-metal en cadera: correlación entre el aumento de iones y el ángulo del componente acetabular

S.M. Miguela Alvarez\*, R. Luna Gutiérrez, M. Surroca, A. Bartra Ylla y F. Angles Crespo

Hospital Universitari Mútua de Terrassa, Terrassa, Barcelona, España

Recibido el 12 de agosto de 2021; aceptado el 4 de noviembre de 2022  
 Disponible en Internet el 10 de diciembre de 2022

### PALABRAS CLAVE

Artroplastia cadera metal-metal;  
 Iones;  
 Inclinación acetabular

**Resumen** Las artroplastias de cadera con par de fricción metal-metal (M-M) debido a su bajo índice de fricción han resultado una opción atractiva en pacientes jóvenes con alta demanda funcional, aunque actualmente han experimentado un descenso en su uso debido a las complicaciones de algunos modelos y a las reacciones fisiológicas adversas relacionadas con la elevación de iones metálicos en sangre. Nuestro objetivo es revisar los pacientes con par M-M intervenidos en nuestro centro, correlacionando el nivel de iones con la posición del componente acetabular y con el tamaño de la cabeza.

**Material y métodos:** Revisión retrospectiva de 166 prótesis de cadera M-M intervenidas entre 2002 y 2011. Se descartaron 65 por diferentes causas (fallecimiento, pérdida de seguimiento, no control actual de iones, no radiografía u otros), quedando una muestra de 101 pacientes a analizar. Se registró el tiempo de seguimiento, el ángulo de inclinación del cótilo, el nivel de iones en sangre, el *Harris Hip Score* (HHS) y las complicaciones.

**Resultados:** Ciento un pacientes (25 mujeres y 76 hombres), 55 años de edad media (entre 26-70); de estos, 8 fueron prótesis de superficie. El tiempo medio de seguimiento fue de 10 años (entre 5 y 17 años). La media de los diámetros cefálicos fue de 46,25 mm (entre 38 y 56). La inclinación media de los cótilos fue de 45,7° (entre 26 y 71°). La fuerza de correlación entre la verticalidad del cótilo y el aumento de iones es moderada  $r=0,31$  para el Cr y leve  $r=0,25$  para el Co. La fuerza de correlación entre el tamaño de la cabeza y el aumento de iones es débil e inversa  $r=-0,14$  para Cr y  $r=0,1$  para Co. Cinco pacientes (4,9%) precisaron revisión (2 [1%] por aumento de iones con pseudotumor). El tiempo medio hasta la revisión fue de 6,5 años, en los que aumentaron los iones. El HHS medio fue de 94,01 (entre 55,8 y 100). En la revisión de pacientes hallamos 3 con aumento importante de iones que no habían seguido controles, y los 3 presentaban un HHS de 100. Los ángulos de los componentes acetabulares fueron de 69°, 60° y 48°, y el diámetro de la cabeza fue de 48, 42 y 48 mm, respectivamente.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [silmig007@hotmail.com](mailto:silmig007@hotmail.com) (S.M. Miguela Alvarez).

*Discusión y conclusiones:* Las prótesis M-M han sido una opción válida en pacientes con elevada demanda funcional. Un seguimiento analítico bianual es recomendable, ya que en nuestro caso hemos detectado 3 pacientes con HHS 100 que presentaban elevación inadmisible de cobalto  $> 20 \mu\text{/l}$  (según la SECCA) de los iones y 4 con elevación muy anormal de cobalto  $\geq 10 \mu\text{/l}$  (según la SECCA), todos ellos con ángulos de orientación del cótilo  $> 50^\circ$ . Con nuestra revisión podemos concluir que hay una correlación moderada entre la verticalidad del componente acetabular y el aumento de iones en sangre, y que el seguimiento de los pacientes con ángulos  $> 50^\circ$  es imprescindible.

© 2022 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## KEYWORDS

Metal-metal hip arthroplasty; Ions; Acetabular inclination

## Metal on metal total hip arthroplasty: Correlation between inclination of the acetabular and metal ion levels

**Abstract** Due to their low friction index, hip arthroplasties with metal-metal (M-M) friction torque have been an attractive option in young patients with high functional demand, currently they have suffered a decrease in their use due to the complications of some models and physiological reactions adverse reactions related to the elevation of metal ions in the blood. Our objective is to review the patients with M-M pair operated in our center, correlating the ion level with the position of the acetabular component and with the size of the head.

*Material and methods:* Retrospective review of 166 M-M hip prostheses operated between 2002 and 2011. Sixty five ruled out for different causes (death, loss of follow-up, no current ion control, no radiography or others), leaving a sample of 101 patients to be analyzed. Follow-up time, cup inclination angle, blood ion level, Harris Hip Score (HHS), and complications were recorded.

*Results:* One hundred and one patients (25 women and 76 men), 55 years of average age (between 26 and 70), of these 8 were surface prostheses and 93 total prostheses. The mean follow-up time was 10 years (between 5 and 17 years). The mean head diameters was 46.25 (between 38 and 56). The mean inclination of the butts was  $45.7^\circ$  (between  $26^\circ$  and  $71^\circ$ ). The correlation force between the verticality of the cup and the increase in ions is moderate  $r=0.31$  for Cr and slight  $r=0.25$  for Co. The correlation force between head size and ion increase is weak and inverse  $r=-0.14$  for Cr and  $r=0.1$  for Co. Five patients (4.9%) required revision (2 [1%] due to increased ions with pseudotumor). The mean time to revision was 6.5 years in which the ions increased. The mean HHS was 94.01 (between 55.8 and 100). In the review of patients, we found 3 with a significant increase in ions who had not followed controls, all 3 had an HHS of 100. The angles of the acetabular components were  $69^\circ$ ,  $60^\circ$  and  $48^\circ$  and the diameter of the head was 48.42 and 48 mm, respectively.

*Discussion and conclusions:* M-M prostheses have been a valid option in patients with high functional demand. A bi-annual analytical follow-up is recommended, since in our case we have detected 3 patients with HHS 100 who presented unacceptable elevation of cobalt  $> 20 \mu\text{m/L}$  (according to SECCA) of the ions and 4 with very abnormal elevation of cobalt  $\geq 10 \mu\text{m/L}$  (according to SECCA), all of them with cup orientation angles  $> 50^\circ$ . With our review we can conclude that there is a moderate correlation between the verticality of the acetabular component and the increase in blood ions and that the follow-up of this patient with angles  $> 50^\circ$  is essential.

© 2022 SECOT. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introducción

En 1891 se registró la primera cirugía de artroplastia de cadera, que ha ido evolucionando hasta convertirse en la cirugía del siglo  $\text{xx}^1$ . No fue hasta la década de 1950 que McKee y Watson-Farrar introdujeron la primera artroplastia total de cadera metal sobre metal (M-M)<sup>2</sup>. A partir del año 2000 se popularizó la artroplastia de recubrimiento con par de fricción M-M debido a sus características de bajo desgaste, especialmente en pacientes jóvenes y

físicamente activos con alta demanda en el rendimiento del implante<sup>3</sup>.

En agosto de 2010 una conocida casa comercial internacional anunciaba la retirada mundial de su prótesis M-M de cadera debido a una tasa de revisión inaceptablemente alta para este sistema<sup>4</sup>. El registro conjunto australiano reveló una tasa de revisión del 9,3% para el sistema de artroplastia total de cadera ASR y del 10,9% para el sistema de recubrimiento de cadera ASR en comparación con el 3,4% y el 4,0%, respectivamente, para prótesis comparables. Otros registros

y estudios se hicieron eco de estos resultados, haciendo así cuestionarse altamente el par de fricción M-M<sup>5,6</sup>.

En 2007 ya la literatura hablaba de la correlación entre el aumento de iones en sangre y los implantes de discos intervertebrales lumbares M-M, y sería entonces cuando se empezó a correlacionar el nivel de iones en sangre elevados con el desgaste protésico en cadera, dando a entender que se podría deducir que los factores que conducen a los niveles de iones más altos en sangre producen mayor desgaste<sup>7,8</sup>. Varios estudios sugieren que el mal posicionamiento de los componentes, medido por la inclinación del componente acetabular, se correlaciona con un mayor desgaste y, por lo tanto, un aumento en los niveles de iones<sup>9-11</sup>.

Valores de cobalto  $\geq 10 \mu\text{/l}$  son indicativos de un incremento del desgaste articular, con una especificidad del 100% y una sensibilidad del 93%<sup>12</sup>. La concentración de iones de cobalto por encima de  $20 \mu\text{/l}$  se ha relacionado con un riesgo de intoxicación sistémica y el tratamiento quirúrgico debe de ser considerado a corto plazo, según recomendación de Sociedad Española de Cirugía de Cadera (SECCA)<sup>13</sup>.

Nuestro objetivo es revisar los pacientes con prótesis total de cadera con vástago no cementado y componente acetabular impactado con par de fricción M-M con cabeza grande (mayor de 36 mm) y artroplastias de recubrimiento intervenidos en nuestro centro, correlacionando el nivel de iones con la posición del componente acetabular y con el tamaño de la cabeza.

## Material y métodos

Realizamos un estudio retrospectivo revisando 166 prótesis de cadera M-M intervenidas entre 2002 y 2011. Se descartaron 65 casos (fallecimiento por causas ajenas a la artroplastia, pérdida de seguimiento, no control actual de iones y ausencia de radiografía en el momento del seguimiento), quedando una muestra de 101 pacientes para analizar. Registramos el tiempo de seguimiento, el ángulo de inclinación del cótilo, el nivel de iones en sangre, el Harris Hip Score (HHS) y las complicaciones.

A todos los pacientes se les realizó una radiografía de cadera y pelvis anteroposterior (AP) calibrada con un cinturón de calibración TraumaCad como marcador de calibración (BrainLab Ltd., Petach-Tikva, Israel) (fig. 1).

Se utilizó el paquete estadístico para el software de estadísticas de ciencias sociales SPSS v22 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.) para calcular la correlación entre el tamaño de la cabeza y el ángulo de inclinación del cótilo con el nivel de iones en sangre.

Las posibles correlaciones entre los iones metálicos en sangre con el diámetro de la cabeza protésica o con la inclinación del ángulo acetabular se evaluaron con el coeficiente de correlación de Spearman.

## Resultados

Se evaluaron 101 pacientes (76 hombres), con una edad media de 55 años (entre 26 y 70); de estos, 8 fueron prótesis de superficie y 93, prótesis totales. El tiempo medio de seguimiento fue de 10 años (entre 5 y 17 años). El HHS medio fue de 94,01 (entre 55,8 y 100). La media de los diámetros



Figura 1 Prótesis total cadera con par de fricción M-M.

Tabla 1 Datos medios de la muestra sobre los diferentes parámetros analizados

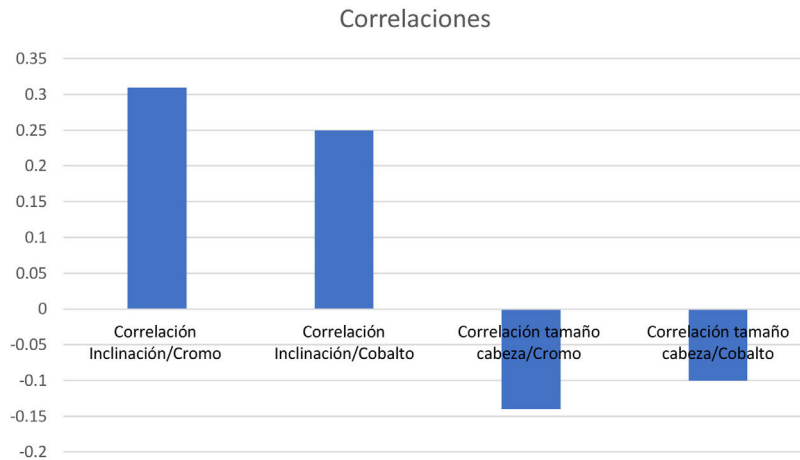
Sexo	25 mujeres, 76 hombres
Edad	55 años (26-70)
Seguimiento	10 años (5-17)
Harris Hip Score	94 (55,8-100)
Diámetro cefálico	46 (38-56)
Inclinación cótilos	45 (26-71)

cefálicos fue de 46,25 mm (entre 38 y 56). La inclinación media de los cótilos fue de  $45,7^\circ$  (entre  $26$  y  $71^\circ$ ) (tabla 1).

La fuerza de correlación entre la verticalidad del cótilo y el aumento de iones fue moderada ( $r=0,31$ ) para el Cr y leve ( $r=0,25$ ) para el Co. La fuerza de correlación entre el tamaño de la cabeza y el aumento de iones es débil e inversa:  $r=-0,14$  para Cr y  $r=0,1$  para Co (fig. 2).

De los pacientes revisados en el estudio, 5 de ellos (4,9%) precisaron revisión quirúrgica de la prótesis. Los motivos fueron: 2 por encontrarse un aumento de iones con presencia de pseudotumor en la resonancia magnética, uno por fractura periprotésica, uno por aflojamiento aseptico y uno por subluxaciones de repetición. Este último presentaba un ángulo de inclinación de  $70^\circ$ . El tiempo medio hasta la revisión fue de 6,5 años en aquellos casos en que la causa de la revisión fue la elevación de los niveles séricos de iones.

En el análisis se objetivaron 5 pacientes con niveles de iones de cobalto aumentados por encima de  $20 \mu\text{/l}$ , siendo esta elevación una recomendación de recambio del par de fricción. Dos de los 5 casos fueron recambiados, uno por



**Figura 2** Gráfica de correlaciones entre los niveles de iones en sangre y la inclinación del cótilo o entre el nivel de iones y el tamaño de la cabeza.

**Tabla 2** Datos de los pacientes con iones elevados, grados de inclinación del acetábulo y niveles de iones

	Paciente 1	Paciente 2	Paciente 3	Paciente 4	Paciente 5
Ángulo cótilo	60°	69°	48°	55°	60°
Nivel cromo, $\mu$ /l	100	84	42	104	97
Nivel cobalto, $\mu$ /l	97	88	109	158	50

aflojamiento aséptico del acetábulo, realizándose un recambio parcial, y el otro por subluxaciones, realizándose un recambio total debido a la imposibilidad de separar la cabeza del vástago, obligando así a retirarlo en bloque tras una osteotomía. Los otros 3 con aumento importante de iones que no habían seguido controles presentaban un HHS de 100. Los ángulos de los componentes acetabulares fueron de 69°, 60° y 48°, y el diámetro de la cabeza de 48,42 y 48 mm, respectivamente (tabla 2).

## Discusión y conclusiones

Las prótesis con par de fricción M-M son una opción válida en pacientes jóvenes con elevada demanda funcional. En nuestro análisis encontramos una tendencia a presentar elevación de iones en los pacientes con cótilos de mayor ángulo de inclinación a pesar de tener funcionalidad óptima de la prótesis (HHS 100). Debido a la mayor tasa registrada de revisión temprana y a los niveles séricos elevados de cobalto y cromo en la sangre, con sus posibles efectos toxicológicos, aumentó la preocupación sobre este par M-M<sup>14</sup>.

En la bibliografía se encuentra una revisión sistemática y un metaanálisis de ensayos donde se calcularon las diferencias para los niveles séricos de iones en sangre. Las diferencias medias para los iones metálicos de cromo y cobalto sérico no fueron significativamente diferentes entre los pacientes con prótesis de recubrimiento de la cadera y los pacientes con artroplastia total de cadera M-M, aunque hubo una tendencia a niveles más bajos de iones de cobalto sérico en los pacientes que recibieron prótesis de recubrimiento de la cadera<sup>15</sup>.

Autores que analizan prótesis de superficie, como De Haan et al.<sup>9</sup> y Langton et al.<sup>11</sup> coinciden con nosotros en que ángulos de abducción superiores a 55 grados, combinados con un tamaño pequeño del componente, dan lugar a niveles séricos más altos de iones de cobalto y cromo, justificando que probablemente esto se deba a un mayor riesgo de carga en el borde. Hart et al.<sup>10</sup> también coinciden en su estudio en la relación de la inclinación del componente acetabular y añaden que la anteversión del mismo presenta una débil asociación con el aumento de iones realizando las mediciones en tomografía axial computarizada.

Sin embargo, otros estudios sugieren que los niveles de iones metálicos en sangre y el posicionamiento del componente acetabular no están directamente relacionados<sup>16,17</sup>. Mann et al.<sup>18</sup> no encontraron relación entre la posición del cótilo ni del vástago femoral y la elevación de iones en sangre tras un estudio prospectivo en el que siguieron a 114 pacientes intervenidos de artroplastia de recubrimiento de cadera M-M. Así mismo, Hart et al.<sup>19</sup> estudiaron a 138 pacientes que fueron sometidos a revisión de artroplastias de cadera M-M, en donde analizaban los componentes retirados en la cirugía de revisión observando el tipo de desgaste tanto en la cabeza como en el borde del cótilo correlacionándolo con datos preoperatorios, y tras un análisis multivariante encontraron que el predictor más importante de la tasa de desgaste fue la presencia de carga en los bordes del cótilo, pero contrariamente a lo esperado, el 69% de las caderas tenían un ángulo de inclinación < 55°.

Respecto al tamaño de la cabeza, la mayor parte de estudios abogan por la ausencia de relación<sup>20,21</sup>. En nuestro estudio aparece una correlación débil e inversa, dando a entender que si existiera relación sería favorable optar por cabezas de tamaño menor. Smith et al.<sup>22</sup> mencionan en

**Tabla 3** Recomendaciones de seguimiento para pacientes portadores de prótesis con par de fricción metal-metal

	Prótesis de superficie metal-metal excepto ASRTM (Depuy®)		Prótesis de cadera metal-metal marca ASRTM (Depuy®) (todos los modelos)		Prótesis total de cadera metal-metal con cabezas < 36 mm de diámetro		Prótesis total de cadera metal-metal con cabezas ≥ 36 mm de diámetro	
	Paciente asintomático	Paciente sintomático	Paciente asintomático	Paciente sintomático	Paciente asintomático	Paciente sintomático	Paciente asintomático	Paciente sintomático
Cronología de visitas de seguimiento	De acuerdo con los protocolos locales. Anual en mujeres o tallas < 48 mm	Anual durante 5 años, al menos	Anual, durante la vida del implante	Anual, durante la vida del implante	De acuerdo con los protocolos locales. Anual en mujeres	Anual durante 5 años, al menos	Anual, durante la vida del implante	Anual, durante la vida del implante
Resonancia, ecografía o TAC, sin artefactos	No hace falta	Recomendado en todos los casos	Recomendado en todos los casos	Recomendado en todos los casos	No hace falta	Recomendado en todos los casos	Recomendado si los iones metálicos aumentan	Recomendado en todos los casos
Analítica incluyendo iones Co-Cr	No hace falta pero existe debate al respecto. Recomendado en mujeres	Recomendado en todos los casos	Recomendado en todos los casos	Recomendado en todos los casos	No hace falta pero existe debate al respecto. Recomendado en mujeres	Recomendado en todos los casos	Recomendado en todos los casos	Recomendado en todos los casos

su artículo que consideran firmemente que existe una relación entre los iones altos y el tamaño grande de las cabezas protésicas.

El seguimiento de estos pacientes es un tema muy discutido. Hernández-Vaquero et al.<sup>23</sup> indican que en pacientes asintomáticos a medio y corto plazo con niveles estables de iones en sangre no precisarían de determinaciones anuales analíticas. La SECCA aporta unos esquemas de actuación que hacen diferencias según los parámetros sean de tipo protésico o clínico (tabla 3)<sup>13</sup>.

Las limitaciones de nuestro estudio serían el carácter retrospectivo del mismo, con la consiguiente pérdida de pacientes. Otra limitación podría consistir en haber considerado en el mismo grupo dos tipos protésicos, siguiendo las publicaciones de Kuzyk et al.<sup>15</sup>, donde refieren que las diferencias medias para los iones metálicos de cromo y cobalto sérico no fueron significativamente diferentes entre los pacientes con prótesis de recubrimiento de la cadera y los pacientes con artroplastia total de cadera M-M, lo que no debería ser un factor que alterara nuestros resultados pero que se debería tener en consideración.

Un seguimiento analítico bianual es recomendable, ya que en nuestro caso hemos detectado 3 pacientes con HHS 100 que presentaban una elevación inadmisiblemente de cobalto > 20 µ/l (según la SECCA) de los iones y 4 con elevación muy anormal de cobalto ≥ 10 µ/l (según la SECCA), todos ellos con ángulos de orientación del cótilo > 50°.

Con nuestra revisión podemos concluir que hay una correlación moderada entre la verticalidad del componente acetabular y el aumento de iones en sangre, y que el seguimiento de pacientes con ángulos > 50° es imprescindible.

## Nivel de evidencia

Nivel de evidencia III.

## Financiación

No se ha recibido ningún tipo de ayuda económica para la financiación del estudio.

## Conflicto de intereses

Todos los autores declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses que haya podido sesgar o influir en sus actuaciones o en el resultado del estudio.

## Derecho a la privacidad y consentimiento informado

Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

## Aprobación del comité ético

Aprobado por el comité ético del hospital.

## Bibliografía

1. Law JI, Crawford DA, Adams JB, Lombardi AVJ. Metal-on-metal total hip revisions: Pearls and pitfalls. *J Arthroplasty*. 2020;35:S68-72.
2. McKee GK, Watson-Farrar J. Replacement of arthritic hips by the McKee-Farrar prosthesis. *J Bone Joint Surg Br*. 1966;48:245-59.
3. Anissian HL, Stark A, Gustafson A, Good V, Clarke IC. Metal-on-metal bearing in hip prosthesis generates 100-fold less wear debris than metal-on-polyethylene. *Acta Orthop Scand*. 1999;70:578-82.
4. Wienroth M, McCormack P, Joyce TJ. Precaution, governance and the failure of medical implants: The ASR™ hip in the UK. *Life Sci Soc Policy*. 2014;10:19.
5. De Steiger RN, Hang JR, Miller LN, Graves SE, Davidson DC. Five-year results of the ASR XL Acetabular System and the ASR Hip Resurfacing System: An analysis from the Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93:2287-93.
6. Steele GD, Fehring TK, Odum SM, Dennis AC, Nadaud MC. Early failure of articular surface replacement XL total hip arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2011;26 Suppl 6: 14-8.
7. Zeh A, Planert M, Siegert G, Lattke P, Held A, Hein W. Release of cobalt and chromium ions into the serum following implantation of the metal-on-metal Maverick-type artificial lumbar disc (Medtronic Sofamor Danek). *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32:348-52.
8. Bauer TW, Shanbhag AS. Are there biological markers of wear? *J Am Acad Orthop Surg*. 2008;16 Suppl 1:S68-71.
9. De Haan R, Pattyn C, Gill HS, Murray DW, Campbell PA, de Smet K. Correlation between inclination of the acetabular component and metal ion levels in metal-on-metal hip resurfacing replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2008;90: 1291-7.
10. Hart AJ, Ilo K, Underwood R, Cann P, Henckel J, Lewis A, et al. The relationship between the angle of version and rate of wear of retrieved metal-on-metal resurfacings: A prospective CT-based study. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93: 315-20.
11. Langton DJ, Jameson SS, Joyce TJ, Webb J, Nargol AVF. The effect of component size and orientation on the concentrations of metal ions after resurfacing arthroplasty of the hip. *J Bone Joint Surg Br*. 2008;90:1143-51.
12. Hart AJ, Sabah SA, Bandi AS, Maggiore P, Tarassoli P, Sampson B, et al. Sensitivity and specificity of blood cobalt and chromium metal ions for predicting failure of metal-on-metal hip replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93: 1308-13.
13. Johnson D, Reaction A, Debris M, Espa LS, Espa R. Sociedad Española de Cirugía de Cadera (SECCA). Documento de información y asesoramiento. Actuación ante pacientes portadores de prótesis total de cadera con par de fricción metal-metal. 2010:1-12. Disponible en: <https://www.secca.es/documentos/guias/protesisMoMclinguide2012.pdf>.
14. Smith AJ, Dieppe P, Howard PW, Blom AW. Failure rates of metal-on-metal hip resurfacings: Analysis of data from the National Joint Registry for England and Wales. *Lancet*. 2012;380:1759-66.
15. Kuzyk PRT, Sellan M, Olsen M, Schemitsch EH. Hip resurfacing versus metal-on-metal total hip arthroplasty — are metal ion levels different? *Bull NYU Hosp Jt Dis*. 2011;69 Suppl 1: S5-11.
16. Bernstein M, Gupta S, Petit A, Zukor DJ, Huk OL, Antoniou J. The effect of operative factors on outlier ion levels in patients with metal-on-metal hip arthroplasties. *Bull NYU Hosp Jt Dis*. 2011;69 Suppl 1:S20-6.

17. Emmanuel AR, Bergin KM, Kelly GE, McCoy GF, Wozniak AP, Quinlan JF. The effect of acetabular inclination on metal ion levels following metal-on-metal hip arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2014;29:186–91.
18. Mann SM, Kunz M, Ellis RE, Rudan JF. Component position and metal ion levels in computer-navigated hip resurfacing arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2017;32:119–24.
19. Hart AJ, Muirhead-Allwood S, Porter M, Matthies A, Ilo K, Maggiore P, et al. Which factors determine the wear rate of large-diameter metal-on-metal hip replacements? Multivariate analysis of two hundred and seventy-six components. *J Bone Joint Surg Am*. 2013;95:678–85.
20. Daniel J, Ziaee H, Pradhan C, McMinn DJW. Systemic metal exposure in large- and small-diameter metal-on-metal total hip replacements. *Orthopedics*. 2008;31 12 Suppl 2, orthosuper-site.com/view.asp?rID=37189.
21. Bernstein M, Walsh A, Petit A, Zukor DJ, Huk OL, Antoniou J. Femoral head size does not affect ion values in metal-on-metal total hips. *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469:1642–50.
22. Smith J, Lee D, Bali K, Raiton P, Kinniburgh D, Faris P, et al. Does bearing size influence metal ion levels in large-head metal-on-metal total hip arthroplasty? A comparison of three total hip systems. *J Orthop Surg Res*. 2014;9:3.
23. Hernández-Vaquero D, García-Pascual M, Iglesias-Fernández S, Escandon-Rodríguez A. Metal-on-metal surface hip arthroplasties. Is annual monitoring of blood metal levels necessary? *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2018;62:436–41.