

Últimas Tendencias en Cirugía Protésica de Rodilla.

A. SILVESTRE^{1,2}, F. PEÑA¹, R. LÓPEZ¹, R. CARRATALÁ¹.

¹HOSPITAL CLÍNICO UNIVERSITARIO DE VALENCIA. ²DEPARTAMENTO CIRUGÍA, FACULTAD DE MEDICINA. UNIVERSIDAD DE VALENCIA.

Resumen. En los últimos años hemos asistido a una importante evolución en los diseños protésicos de la artroplastia total de rodilla. Todos ellos tienen como finalidad mejorar los satisfactorios resultados de este procedimiento. La búsqueda del par de fricción ideal en este implante ha dado como resultado las mejoras en el proceso de fabricación del inserto e incluso la incorporación de nuevos materiales empleados con éxito en otras articulaciones, pero cuyos beneficios en la rodilla todavía requieren de experiencia. Los objetivos quirúrgicos de precisión y reproductibilidad de resultados ha dado lugar a la incorporación de la robótica en este proceso. Asimismo, la necesidad de restablecer la cinemática articular ha supuesto la evolución a diseños que preservan el pivot central de la rodilla o cuya constricción es variable entre los dos compartimentos. No obstante, debemos ser cautos a la hora de evaluar los beneficios derivados de estas supuestas mejoras.

Latest Trends in Prosthetic Knee Surgery.

Summary. We have attended to an amazing development in total knee replacement designs for the last years. Everyone grows with the idea of improving the good outcomes of this procedure. The search an ideal friction torque has assumed a better manufacturing of the insert and even the usage of new materials with great success in other joints, but whose profits in the knee must be tested. Accuracy and outcomes reproducibility led to add robotic to this procedure. Likewise the need to recreate joint kinematics provoked the evolution to designs with preservation of cruciate ligaments or with different constriction in each compartment. However, we must be careful when analysing benefits of these improvements.

Correspondencia:

Antonio Silvestre Muñoz
Hospital Clínico Universitario de Valencia.
Avda. Blasco Ibáñez, 17.
46010 Valencia.
antonio.silvestre@uv.es

Introducción

La artroplastia total de rodilla es una de las intervenciones quirúrgicas más eficiente y más frecuente en el campo de la cirugía ortopédica. La mayoría de pacientes sometidos a esta intervención obtienen un alivio del dolor y un nivel funcional que les permite incorporarse a una vida activa. Aunque el número total de artroplastias de rodilla practicadas en todo el mundo continúa incrementándose a diario, han surgido en los últimos años publicaciones¹ que alertan sobre el porcentaje de insatisfacción de los pacientes en relación con este procedimiento quirúrgico, estando el mismo en cifras alrededor del 15-30%.

Entre los años 1990-1994 se practicaban 313 artroplastias totales de rodilla cada 100.000 habitantes en EEUU, duplicándose el número hasta 634 cada 100.000 habitantes entre 2000-2004². En Cataluña, la tasa por 10.000 habitantes aumento del 2.6 en 1994 al 15.5 en el 2005³. Un estudio de Kurtz, basado en el *National Inpatient Sample* (entre 1900 y 2002) y los datos del censo de EEUU, calcula que el número de artroplastias totales de rodilla practicadas se duplicará en 2016. Pero no debemos olvidar que esto lleva asociado un aumento en el número de revisiones que se estima que desde 2005 a 2030 crecerá un 601%⁴.

Con todo, podemos afirmar que se trata de una cirugía que proporciona gran satisfacción al paciente y al cirujano. Según diferentes paneles de expertos, la artroplastia total de rodilla aumenta la capacidad funcional y mejora la calidad de vida en el 90% de pacientes sometidos a este procedimiento quirúrgico, y la supervivencia de los implantes a los diez años es superior al 90-92% y a los 20 años superior al 80%, lo que se considera un buen resultado. No obstante, este varía

en función de numerosos parámetros entre los que se encuentran: la edad del paciente, el diseño protésico y la adecuada reproducción de la cinemática de la rodilla. Los problemas tenderán a magnificarse con el tiempo, ya que nos enfrentamos a una población con mayor esperanza de vida, más activa y más exigente en cuanto a los resultados funcionales.

Desde la artroplastia de rodilla policéntrica, en bisagra, condílea... hasta nuestros días, se han desarrollando diseños, instrumentales, tecnología y materiales empleados en esta técnica quirúrgica con la finalidad de incrementar la longevidad de los implantes, mejorar la funcionalidad de los pacientes y aumentar en la medida de lo posible el grado de satisfacción de los mismos.

Pares de fricción

Uno de los caballos de batalla cuando se busca mejorar la longevidad de un implante protésico es optimizar el par de fricción de la misma. El par de fricción por excelencia en la artroplastia de rodilla es el metal-polietileno y precisamente para prolongar la supervivencia del mismo se han establecido variantes en el diseño, fabricación y tratamiento del polietileno (PE).

Con la finalidad de reducir el desgaste y la osteolisis se planteó la disociación del par de fricción en dos áreas con la introducción de las plataformas móviles que intentaban imitar el comportamiento de los meniscos y la superficie tibial en los diferentes vectores en que se puede desglosar el movimiento de la rodilla. El uso de las plataformas móviles no es nuevo, ya que han sido utilizadas desde los años 70 del siglo pasado⁵.

No obstante, la reducción del potencial desgaste del PE y la reproducción más fiel de la cinemática de la rodilla ha sido defendida como una innovación en el diseño de la prótesis total de rodilla (PTR), sobre todo para su uso en pacientes jóvenes⁶. Aunque los diseños son variados, las PTR de platillo móvil consisten en una superficie de PE entre el componente femoral y tibial, a modo de contenido de un emparedado, que puede permitir solamente el movimiento de rotación alrededor de un eje longitudinal ubicado en diferentes puntos de la superficie tibial o el de rotación y traslación, generalmente antero-posterior. Estas articulaciones deben poseer PE más congruentes que los de las prótesis no móviles, lo que reduce el estrés de contacto y por lo tanto, el desgaste. Con mayor libertad de movimiento el implante reproduce el movimiento normal de la rodilla a lo largo de la flexión y extensión de la misma y por ello reduce el stress en la interfaz implante-hueso⁶.

Buechel y cols.⁷ y Sorrels y cols.⁸ han mostrado excelentes resultados y tasas de supervivencia (9-20 años) con el empleo de diferentes sistemas de prótesis de platillos móviles. Las complicaciones atribuibles a este tipo de implante son la luxación del PE (0-9%) y el potencial desgaste de la superficie deslizante del PE.

Obviamente la técnica quirúrgica tiene una curva de aprendizaje, y es un hecho evidente que los cirujanos que operan más número de prótesis tienen menores tasas de luxación⁸.

Con la finalidad de optimizar el par de fricción, se ha intentado mejorar los ya de por sí excelentes resultados del "ultra high molecular weight polyethylene" (UHMWPE), con la fabricación del polietileno altamente entrecruzado. Los avances obtenidos en los recientes años en la química de polímeros han permitido mejoras en cuanto al desgaste y propiedades mecánicas de este polímero termoplástico. Aunque algunas técnicas revolucionarias en su momento como el PE reforzado con fibras de carbono que tan esperanzadores resultados había proporcionado "in vitro" tuvo un comportamiento desastroso "in vivo", otros procedimientos aplicados al UHMWPE como el modelado por compresión directa o la esterilización en gas inerte permitieron mejorar las propiedades de los insertos⁹.

Los insertos de PE altamente entrecruzado han mostrado una mayor resistencia al desgaste, pero este procedimiento no está exento de efectos no deseables como son la reducción de las propiedades mecánicas del mismo, la disminución de la ductilidad, la menor resistencia tensil final y la menor resistencia a la rotura por fatiga. Este se obtiene mediante irradiación (con haz de electrones o con dosis variables de radiación ionizante) del UHMWPE que favorece la formación de enlaces covalentes entre las cadenas de polímeros durante la fase amorfa. Esto es lo que le confiere una mayor resistencia al desgaste de superficie que el UHMWPE convencional, como se ha demostrado en numerosos estudios con simuladores tanto en insertos de rodilla como de cadera^{10, 11}.

Estos puentes entrecruzados también predisponen a la liberación de "radicales libres" que pueden favorecer la degradación oxidativa del PE una vez se abre el envase de vacío. La eliminación de estos radicales libres altera la estructura cristalina del material y consecuentemente reduce sus propiedades mecánicas, lo que le hace más susceptible a la fatiga. Esta susceptibilidad es realmente preocupante en la rodilla, donde el estrés de contacto es mayor que en la cadera, lo que nos hace desconfiar de esta tecnología en la prótesis de rodilla.

Las nuevas tecnologías en la producción de PE altamente entrecruzado emplean diferentes métodos para conservar la integridad mecánica del inserto eliminando los radicales libres, como: **a)** secuestrar radicales libres, mediante el calentamiento del PE a temperatura inferior a su punto de fusión^{12, 13}; **b)** la deformación mecánica del PE irradiado que genera menos producción de radicales libres¹⁴ y **c)** la utilización de secuestradores de radicales libres como la alfa-tocoferol (vitamina E)¹⁵.

No obstante, no existen datos a largo plazo que establezcan comparaciones entre el PE entrecruzado y

el convencional. Hodrick y cols.¹⁶, comparó PE y PE entrecruzado sin encontrar desgaste catastrófico (75 meses) o diferencias en cuanto a la tasa de revisión por aflojamiento del componente. Es cierto que no es comparable el ambiente de transmisión de cargas de la cadera y de la rodilla, pero la mejor resistencia al desgaste de este inserto parece corroborarse en diferentes estudios^{17, 18}. Sin embargo, hacen falta estudios a largo plazo y de carácter randomizado para determinar la eficiencia de esta tecnología en la longevidad del implante.

Otra opción, que se sigue investigando con la finalidad de reducir el desgaste y la osteolisis en los implantes de rodilla, es el uso de superficies cerámicas en el componente femoral. El empleo de cerámica en la PTR ha sido esporádico y nunca de la magnitud de su uso en la PTC. Siempre ha preocupado de la cerámica su “fragilidad” y su “mala tolerancia a los impactos”, no obstante, los implantes cerámicos fabricados en Japón muestran una gran capacidad para soportar las fuerzas desencadenadas en la rodilla. Existen numerosos estudios llevados a cabo en la rodilla con implantes cerámicos¹⁹, como el de Agaki y cols. con la Bisurface® con par de fricción alumina-PE⁹. La supervivencia era del 94% a 6 años, la satisfacción del paciente (HSS) era alta y no hubieron cirugías de revisión por fractura del componente. Sin embargo, los autores reconocen que su experiencia estaba limitada a pacientes japoneses y ellos no descartaban que en pacientes con sobrepeso la rotura de la cerámica pueda ser motivo de preocupación.

Nuevos diseños de implantes femorales nos han llevado a usar un material también novedoso como el “zirconio”, que puede ser oxidado para convertirlo en zirconia (óxido de zirconio). Para ello se calienta la superficie externa del zirconio en presencia de oxígeno de manera que la capa cerámica se forma sobre el núcleo metálico del zirconio. Esto le proporciona a la prótesis propiedades de bajo desgaste de la cerámica en su superficie y resistencia por el núcleo constituido por el zirconio, lo que parece conferirle a la prótesis menor susceptibilidad a una rotura por fragilidad²⁰. Diferentes estudios realizados en simulador han puesto de manifiesto hasta un 85% de reducción del desgaste tras 5 millones de ciclos para el par de fricción zirconio-PE en comparación con el metal-PE en PTR^{9, 20}. Laskin publicó sus resultados a corto plazo con la Genesis II (componente femoral de oxinium), sin encontrar diferencias comparándola con otro grupo de metal convencional, salvo por el hecho de una precoz recuperación de la flexión de rodilla en el grupo del zirconio prácticamente en los dos primeros meses²¹.

Robótica

Los conceptos “*cirugía ortopédica asistida por ordenador*” [*Computer Assisted Orthopaedic Surgery CAOS*] y “*cirugía integrada con ordenadores*” [*Computer-integrated Surgery CIS*], introducidos por DiGioi²² y Taylor²³, definen la relación hombre-máquina, de forma que la actividad desarrollada durante la cirugía proporciona resultados mejores que los obtenidos de forma individual. Este binomio debería reportar efectos beneficiosos para el paciente.

La cirugía asistida por ordenador supone un ayuda en la colocación de los implantes. Se ha comprobado que los componentes, femoral y tibial, se orientan mejor cuando se utiliza la navegación. La posición de los componentes de la artroplastia de rodilla, así como la restauración del eje mecánico tiene una trascendental importancia en la supervivencia del implante²⁴⁻²⁸.

La defensa de la navegación posee un fundamento bibliográfico sólido y contrastado, ya que existen en la actualidad numerosos estudios prospectivos, aleatorizados y comparativos que han demostrado una mejor alineación de la artroplastia total de rodilla con técnicas navegadas que con el procedimiento tradicional²⁹⁻³¹.

Al igual que la navegación puede hacerse intraoperatoriamente, existe la opción de realizar lo que se denomina **cirugía pre-navegada**, en la que mediante TAC o RM se consiguen moldes de las estructuras a tratar y plantillas (*guías individualizadas*) que aplicadas sobre las estructuras anatómicas sirven para el posicionamiento de las guías propias de la cirugía convencional²³.

Parece que con el tiempo el profesional de la salud puede quedar desplazado por las máquinas, pero no es así, es la cooperación cirujano-máquina de donde obtendrá el paciente su beneficio, no interfiriendo esta interacción en la relación médico-paciente.

Tabla I. Sistemas de ayuda robótica en técnicas quirúrgicas.

SISTEMAS	TÉCNICAS
Pasivos	Simuladores quirúrgicos y planificadores pre-operatorios Navegadores Aparatos de precisión
Semi-activos	Plantillas individualizadas Sistemas robóticos adaptados a plantillas
Activos	Robots automáticos

Prótesis "High Flexion" y diseños específicos de género

Hace unos años se estableció el diseño de prótesis de rodilla con amplio rango de flexión, por motivos culturales (ciudadanos asiáticos) y por aumento de las expectativas funcionales de los pacientes. La geometría de la parte posterior y el offset femoral se ajustó en orden a permitir una hiperflexión de la articulación. Es cierto que los estudios realizados en cadáver demostraron un mayor rango de flexión³², pero las series clínicas no han mostrado los mismos resultados^{33,34}. Kim, Choi y Kim han comparado los diseños de alta flexión y los convencionales en un estudio randomizado y han comprobado que no existen ventajas clínicas ni funcionales³⁵. Otros autores tienen tras prótesis de alto rango de flexión a un año de revisión, hasta un 20% de pacientes con limitaciones en aquellas actividades que requieren "hiperflexión", y Fu y cols. llegan a la conclusión que no existe evidencia científica suficiente de obtener un mayor rango de movilidad ni beneficios para el paciente tras implantar estas prótesis³⁶.

En una reciente revisión Namba³⁷ recomienda cautela a la hora de usar dispositivos de alta flexión, en los que el riesgo de revisión era 2.27 (hazard ratio) superior al de los implantes convencionales y en especial en aquellos casos en que se tengan que implantar insertos de PE gruesos (> 14 mm) en los que el riesgo de revisión se incrementaba hasta el 8.10 (hazard ratio).

Algunos autores propusieron hace unos años modelos diseñados en función del género para de esta forma proporcionar un implante mejor conformado a la morfología femoral de la mujer (tamaño, diferencias rotacionales de la tróclea, ángulo Q, etc.)³⁸. Diferentes estudios no han demostrado diferencia alguna en cuanto a los resultados obtenidos en comparación con modelos convencionales^{39,40}.

Prótesis con conservación de ligamentos cruzados

Recientemente se han popularizado las prótesis de rodillas que conservan ambos cruzados, idea ya antigua que en la actualidad se ha propuesto como alternativa para pacientes más jóvenes que presentan dolor y limitación funcional, aunque no un grado avanzado de deterioro articular. Quizás esta revitalización de una idea ya empleada hace unos cuantos años, viene un poco determinada por el nivel de exigencia de la población, en la actualidad más demandante en cuanto a su recuperación funcional y por una mala tolerancia al dolor.

No debemos olvidar que este tipo de implante precisa de una adecuada selección del paciente, ya que la enfermedad articular puede afectar la integridad de los

ligamentos cruzados y por lo tanto no podemos utilizar este modelo de implante en todos los casos⁴¹, pero es evidente que en los casos en que pueda utilizarse consigue una más fiel reproducción de la cinemática de la rodilla. Hasta la fecha existen resultados que demuestran los beneficios de este tipo de implante con diseños antiguos, pero los estudios con los actuales modelos son ensayos en marcha y pendientes de evaluación, por lo que tendremos que esperar a valorar los beneficios de esta variante.

Prótesis de estabilización medial

Recientemente y en un intento por reproducir la cinemática de la rodilla, tratando de minimizar el desgaste del PE, se ha aprovechado otra idea de hace unos años. Existen estudios que evidencian que en la rodilla normal la tibia pivota alrededor de la superficie femoral medial durante la flexión. Por este motivo se han diseñado insertos tibiales asimétricos que son más congruentes en el compartimento medial donde se comportan como una rótula, mientras que en el lado lateral permiten una traslación antero-posterior en un compartimento semi-congruente que rota alrededor del compartimento medial de la articulación⁴².

Estudios realizados en cadáver y en vivo han mostrado que la rotación tibio-femoral y la traslación que se consigue en el paciente y en el cadáver son equivalentes en cuanto al sentido, pero de menor magnitud en la rodillas protetizadas en el vivo. No obstante la cinemática es similar a la de la rodilla convencional, sin diferencias en cuanto a la potencia de cuádriceps necesaria para la extensión. Ésta más fiel reproducción del movimiento de la rodilla parece que facilita gestos habituales como el arrodillarse con este modelo de implante⁴³. No obstante los resultados clínicos y radiográficos a medio plazo son satisfactorios aunque similares a los de los distintos modelos existentes en el mercado⁴⁴.

Conclusión

El mejor diseño protésico sigue siendo una cuestión difícil de resolver. Muchos de los trabajos en que basamos nuestra decisión para la elección de un implante se basan en estudios observacionales de cirujanos que solamente recogen los resultados a corto-medio plazo. No olvidemos que en 1997, hasta el 54% de los 37 modelos protésicos existentes en el mercado no tenían datos publicados que justificasen su utilización⁴⁵. Por todo ello, hemos de ser meticulosos a la hora de seleccionar innovaciones aplicadas en los implantes y analizar detenidamente el beneficio que puedan reportar.

Bibliografía

1. Nunley RM, Nam D, Berend KR, Lombardi AV, Dennis DA, Della Valle CJ, Barrack RL. New total knee arthroplasty designs: do young patients notice?. *Clin Orthop Relat Res.* 2015; 473:101-8.
- 2.- Memtsoudis SG, DellaValle AG, Bescullides MC, Gaber L, Laskin R. Trends in demographics, comorbidity profiles, in-hospital complications and mortality associated with primary knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2009; 24:518-27
3. Allepuz A, Serra-Sutton V, Espallargues M, Salvador X, Ponsa JMV. Artroplastias de cadera y rodilla en Cataluña desde 1994 a 2005. *Gac Sanit* 2008; 22:534-40.
4. Archibeck MJ, White RE Jr. What's new in adult reconstructive knee surgery. *J Bone Joint Surg.* 2006; 88-A:1677-86.
5. Hamelynck KJ. The history of mobile-bearing total knee replacement systems. *Orthopedics* 2006; 29 supl 9:S7-12.
6. Vertullo CJ, Easley ME, Scott WN, Insall JN. Mobile bearings in primary knee arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg* 2001; 9:355-64.
7. Buechel FF Sr, Buechel FF Jr, Pappas MJ, D'Alessio J. Twenty-year evaluation of meniscal bearing and rotating platform knee replacements. *Clin Orthop Relat Res* 2001; 388:41-50.
8. Sorrells RB, Voorhorst PE, Murphy JA, Bauschka MP, Greenwald AS. Uncemented rotating-platform total knee replacement: a five to twelve-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am* 2004; 86:2156-62.
9. Gee AO, Lee GC. Alternative bearings in total knee arthroplasty. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 2012; 41:280-3.
10. Muratoglu OK, Burroughs BR, Bragdon CR, Christensen S, Lozynsky A, Harris WH. Knee simulator wear of polyethylene tibias articulating against explanted rough femoral components. *Clin Orthop Relat Res* 2004; 428:108-13.
11. Muratoglu OK, Rubash HE, Bragdon CR, Burroughs BR, Huang A, Harris WH. Simulated normal gait wear testing of a highly cross-linked polyethylene tibial insert. *J Arthroplasty* 2007; 22:435-44.
12. Crowninshield RD, Muratoglu OK. How have new sterilization techniques and new forms of polyethylene influenced wear in total joint replacement? *Implant Wear Symposium 2007 Engineering Work Group.* *J Am Acad Orthop Surg* 2008; 16 supl 1:S80-5.
13. Jacofsky DJ. Highly cross-linked polyethylene in total knee arthroplasty: in the affirmative. *J Arthroplasty* 2008; 23 supl 7:28-30.
14. Kurtz SM, Mazzucco D, Rimnac CM, Schroeder D. Anisotropy and oxidative resistance of highly crosslinked UHMWPE after deformation processing by solid-state ram extrusion. *Biomaterials* 2006; 27:24-34.
15. Oral E, Christensen SD, Malhi AS, Wannomae KK, Muratoglu OK. Wear resistance and mechanical properties of highly cross-linked, ultrahigh-molecular weight polyethylene doped with vitamin E. *J Arthroplasty* 2006; 21:580-91.
16. Hodrick JT, Severson EP, McAlister DS, Dahl B, Hofmann AA. Highly crosslinked polyethylene is safe for use in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 2008; 466:2806-12.
17. McCalden RW, MacDonald SJ, Rorabeck CH, Bourne RB, Chess DG, Charron KD. Wear rate of highly cross-linked polyethylene in total hip arthroplasty. A randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am* 2009; 91:773-82.
18. Glyn-Jones S, Isaac S, Hauptfleisch J, McLardy-Smith P, Murray DW, Gill HS. Does highly cross-linked polyethylene wear less than conventional polyethylene in total hip arthroplasty? A double-blind, randomized, and controlled trial using roentgen stereophotogrammetric analysis. *J Arthroplasty* 2008; 23:337-43.
19. Oonishi H, Ueno M, Kim SC, Oonishi H, Iwamoto M, Kyomoto M. Ceramic versus cobalt-chrome femoral components; wear of polyethylene insert in total knee prosthesis. *J Arthroplasty* 2009; 24:374-82.
20. Ezzet KA, Hermida JC, Colwell CW Jr, D'Lima DD. Oxidized zirconium femoral components reduce polyethylene wear in a knee wear simulator. *Clin Orthop Relat Res* 2004; 428:120-4.
21. Laskin RS. An oxidized Zr ceramic surfaced femoral component for total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 2003; 416:191-6.
22. DiGioia AM 3rd. What is computer assisted orthopaedic surgery?. *Clin Orthop Relat Res* 1998; 354:2-4.
23. Taylor RH, Lavallée S, Burdea GC, Mösges R. Computer-integrated surgery: technology and clinical applications. The MIT Press 1996.
24. Deirmengian CA, Lonner JH. What's new in adult reconstructive knee surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2010; 92:2753-64.
25. Fang DM, Ritter MA, Davis KE. Coronal alignment in total knee arthroplasty: just how important is it?. *J Arthroplasty.* 2009; 24:39-43.
26. Choong PF, Dowsey MM, Stoney JD. Does accurate anatomical alignment results in better function and quality of life? Comparing conventional and computer-assisted total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2009; 24:560-9.
27. Longstaff LM, Sloan K, Stamp N, Scaddan M, Beaver R. Good alignment after total knee arthroplasty leads to faster rehabilitation and better function. *J Arthroplasty* 2009; 24:570-8.
28. Weng YJ, Hsu RW, Hsu WH. Comparison of computer-assisted navigation and conventional instrumentation for bilateral total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2009; 24:668-73.
29. Sparmann M, Wolke B, Czupalla H, Barzner D, Zink A. Positioning of total knee arthroplasty with and without navigation support. A prospective, randomised study. *J Bone Joint Surg Br* 2003; 85:830-5.
30. Hart R, Janecek M, Chaker A, Bucek P. Total knee arthroplasty implanted with and without kinematic navigation. *Int Orthop* 2003; 27:366-9.
31. Hernández-Vaquero D, Barrera JL, Suárez A, García-Sandoval MA, Pérez-Hernández D. Cirugía asistida con ordenador en las artroplastias de rodilla. Estudio prospectivo. *Rev Ortop Traumatol* 2003; 47:328-35.
32. Li G, Most E, Sultan PG, Schule S, Zayontz S, Park SE, Rubash HE. Knee kinematics with a high-flexion posterior stabilized total knee prosthesis: an in vitro robotic experimental investigation. *J Bone Joint Surg Am* 2004; 86:1721-9.
33. Seon JK, Park SJ, Lee KB, Yoon TR, Kozanek M, Song EK. Range of motion in total knee arthroplasty: a prospective comparison of high-flexion and standard cruciate-retaining designs. *J Bone Joint Surg Am* 2009; 91:672-9.
34. Long WJ, Scuderi GR. High-flexion total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2008; 23:6-10.
35. Kim Y-H, Choi Y, Kim J-S. Comparison of a standard and a gender-specific posterior cruciate-substituting high-flexion knee prosthesis: a prospective, randomized, short-term outcome study. *J Bone Joint Surg Am* 2010; 92:1911-20.
36. Fu H, Wang J, Zhang W, Cheng T, Zhang X. No Clinical Benefit of High-Flex Total Knee Arthroplasty. A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Arthroplasty* 2014. En prensa.
37. Namba RS1, Inacio MC, Cafri G. Increased risk of revision for high flexion total knee replacement with thicker tibial liners. *Bone Joint J* 2014; 96:217-23.
38. Chin KR, Dalury DF, Zurakowski D, Scott RD. Intraoperative measurements of male and female distal femurs during primary total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2002; 15:213-7.
39. Kim Y-H, Choi Y, Kim J-S. Comparison of a standard and a gender-specific posterior cruciate-substituting high-flexion knee prosthesis: a prospective, randomized, short-term outcome study. *J Bone Joint Surg Am* 2010; 92:1911-20.
40. Kim Y-H, Choi Y, Kim J-S. Comparison of standard and gender-specific posteriorcruciate-retaining high-flexion total knee replacements; a prospective randomised study. *J Bone Joint Surg Br* 2010; 92:639-45.

41. **Pritchett JW.** Bicruciate-retaining Total Knee Replacement Provides Satisfactory Function and Implant Survivorship at 23 Years. *Clin Orthop Relat Res*; 2015. En prensa.
42. **Brinkman JM, Bubra PS, Walker P, Walsh WR, Bruce WJM.** Midterm results using a medial pivot total knee replacement compared with the Australian National Joint Replacement Registry data. *ANZ Journal of Surgery* 2013; 84:172-6.
43. **Barnes CL, Blaha JD, DeBoer D, Stemniski P, Obert R, Carroll M.** Assessment of a medial pivot total knee arthroplasty design in a cadaveric knee extension test model. *J Arthroplasty* 2012; 27:1460-8.
44. **Schmidt R1, Ogden S, Blaha JD, Alexander A, Fitch DA, Barnes CL.** Midterm clinical and radiographic results of the medial pivot total knee system. *Int Orthop* 2014; 38:2495-8.
45. **Liow RYL, Murray DW.** Which primary knee replacement? A Review of currently available TKR in the United Kingdom. *Ann R Coll Surg Engl* 1997; 79:335-40.