

Artículo de revisión

Artroplastía total de rodilla navegada. ¿Por qué utilizarla?

Ochoa-Cázares R,* Cuadra-Castillo M**

Hospital Ángeles del Pedregal

RESUMEN. La artroplastía total de rodilla es un procedimiento cada día más común, que ofrece alivio seguro y efectivo para el dolor y restauración de función en pacientes afectados por artritis y osteoartritis. El éxito del procedimiento es multifactorial, siendo la alineación del implante uno de los factores que más influye en un resultado satisfactorio y confiable. La artroplastía total de rodilla navegada fue diseñada con el objetivo de ayudar al cirujano a mejorar el alineamiento y la posición de los implantes, mientras él mantiene el control de ejecución de cortes y fijación. Revisamos en este artículo los orígenes de la navegación, los detalles técnicos, ventajas y desventajas, incluyendo un vistazo a los futuros usos, y el porqué se considera que su implementación en la cirugía de reemplazo de rodilla juega un rol de suma importancia con múltiples aplicaciones y una reproducibilidad que lo hace un procedimiento cada día más común, seguro y exitoso.

Palabras clave: artroplastía, rodilla, técnica, dolor, navegación.

ABSTRACT. Total knee arthroplasty is an increasingly common procedure that provides safe and effective pain relief and function restoration in patients with arthritis and osteoarthritis. The success of the procedure is multifactorial, with implant alignment as one of the major factors involved in a satisfactory and reliable result. Total knee arthroplasty with surgical navigation was designed with the purpose of helping the surgeon improve implant alignment and position while he maintains control over the cuts made and fixation. We reviewed this article on the origins of navigation, the technical details, the advantages and disadvantages, including a glance at future uses and the reason why its use in knee replacement surgery plays such an important role; it has multiple applications and a reproducibility that turn it into an increasingly common, safe and successful procedure.

Key words: arthroplasty, knee, technic, pain, navigation.

Introducción

La artroplastía total de rodilla (ATR) es un procedimiento cada día más común, que ofrece alivio seguro y efectivo para el dolor y la restauración de función en pacientes afec-

tados por artritis y osteoartritis. El éxito del procedimiento es multifactorial, dependiendo de la adecuada selección del paciente, diseño de la prótesis, balance de partes blandas y comorbilidades médicas. Además, los factores quirúrgicos juegan un rol importante y dentro de éstos son cruciales la habilidad del cirujano, duración del procedimiento, la preparación en implantación de la prótesis y los cuidados postoperatorios.¹

Uno de los factores importantes que se ha demostrado influye en un resultado satisfactorio es la alineación del implante. El inadecuado posicionamiento u orientación de una prótesis resulta en una excursión femorotibial asimétrica, llevando a cargas anormales en las superficies articulares y en las interfaces hueso-implante, que condicionan aflojamiento y desgaste prematuro de la prótesis.^{2,3} Múltiples estudios han demostrado que colocar una prótesis dentro del rango de 0 a 3 grados del eje mecánico de la extremidad, reduce los riesgos de desgaste anormal del polietileno, aflojamiento prematuro y falla temprana del implante (*Figura 1*).^{4,5}

* Ortopedista y Traumatólogo. Director del Curso de Alta Especialidad en Artroscopía y Reconstrucción Articular. Hospital Ángeles del Pedregal.

** Residente de Postgrado en Artroscopía y Reconstrucción Articular.

Dirección para correspondencia:

Dr. René Ochoa Cázares

Camino a Santa Teresa Núm. 1055-504,

Col: Héroes de Padierna, C.P. 10700.

Magdalena Contreras. México, D.F.

Hospital Ángeles del Pedregal - Consultorio 504

Tels: (55) 5652-5151 / (55) 5135-2704 / (55) 5135-2705

E-mail: rene_ochoa@prodigy.net.mx

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/actaortopedica>

La tecnología ha continuado evolucionando en un esfuerzo para mejorar los resultados de los pacientes. La ATR navegada fue diseñada con el objetivo de ayudar al cirujano a mejorar el alineamiento y la posición de los implantes. Fue desarrollada e introducida en Grenoble, Francia, a mediados de los 90 y la primera se realizó el 21 de Enero de 1997, sin eventualidades ni problemas y desde entonces se ha difundido por todo el mundo. La navegación asistida por computadora de las ATR logra obtener un alineamiento postoperatorio adecuado mediante cortes más precisos y reproducibles con un adecuado balance de ligamentos.^{2,6,7,8,9,10,11,12}

Los sistemas de cirugía asistida por computadora son de tres tipos: sistema robótico activo, robótico semiactivo y sistema pasivo. Además, la asistencia por computadora puede ser de tipo «cerrada» o «abierta» según la posibilidad del sistema de ser compatible con un solo tipo de implante o si permite trabajar con múltiples diseños, respectivamente. En adición, puede ser realizada con imágenes (tomografía computada [TC] o fluoroscopia) o sin imágenes. El sistema que se usa de forma más amplia para la ATR es el pasivo sin imágenes, en el cuál el cirujano tiene control completo de todo el procedimiento.^{3,13}

Los componentes de la navegación incluyen una plataforma con un ordenador, un sistema de rastreo (*Figura 2*) y un marcador rígido o móvil en el campo operatorio. El ordenador interpreta matemáticamente los datos obtenidos del campo quirúrgico y luego muestra en un monitor la información sobre planos de resección, grados y medidas de alineación así como espacios de flexión y extensión. Previamente, el fabricante ha almacenado en el ordenador un gran número de imágenes de TC de pacientes, creando una base de datos para la elaboración de un molde de fémur y tibia que sea compatible con los datos registrados por el cirujano.¹⁴

El registro es entonces el proceso de referencias que toma el cirujano en el campo quirúrgico, para hacer coincidir las características óseas del paciente con la base de datos ya introducida en el ordenador. Este proceso de referenciar, se puede realizar de dos formas: a. cinemáticamente y b. trazo de puntos de superficie (*Figuras 3 y 4*). Cinemáticamente se obtienen los centros de cadera y de tobillo y el trazo de puntos, permite realizar el molde virtual que va a determinar tamaño de componentes, niveles y grados de resección ósea y corrobora los datos cinemáticos obtenidos, los cuáles serán almacenados y se cotejarán con los cortes óseos finales a medida que se van realizando y nos permitirá obtener brechas de extensión y flexión simétricas (*Figura 5*).¹⁵

El sistema de rastreo consiste en una cámara óptica, una bovina electromagnética o un transductor de ultrasonido. El método óptico es el más utilizado por comodidad de no necesitar cables conectados desde el campo quirúrgico hacia un aparato fuera del mismo. Y usualmente la cámara, que sí está fuera del campo visual, registra por medio de rayos infrarrojos, la posición de dispositivos o marcadores, los cuáles son usualmente esferas reflectoras, que pueden

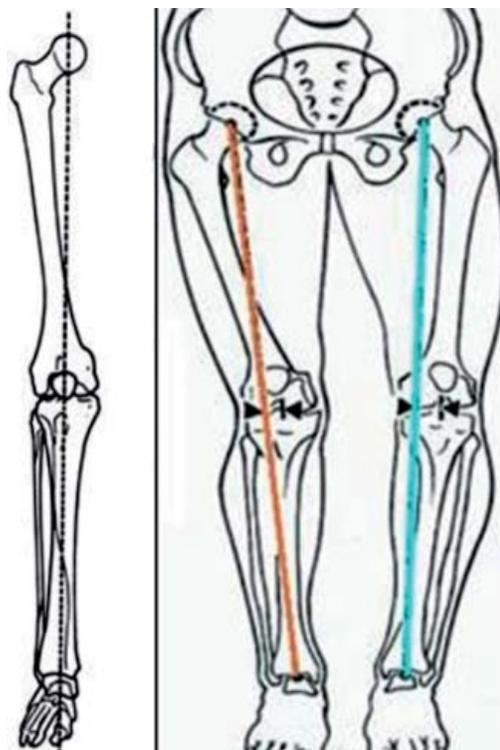


Figura 1. Eje mecánico normal de 0 a 3 grados y desviaciones del mismo en varo y en valgo.

estar anclados al hueso, en un puntero que usa el cirujano y en las guías de corte óseo. La distancia ideal entre ambos debe ser de 1.8 a 2.5 m y sin obstrucción, lo cual nos asegura un margen de error mínimo de 0.25 mm y 0.1 grados.^{16,17}

La navegación no es un método a prueba de fallas, el cirujano debe conocer los valores de configuración predefinidos del equipo que esté utilizando. Las referencias óseas deben ser adquiridas adecuadamente, siendo ésta la etapa de mayor fuente de errores técnicos en el mapeo de la rodilla. Otros errores pueden deberse a rastreadores sucios o defectuosos, distancia de la cámara, densidad ósea, para lo que se recomienda fijar los marcadores al hueso mediante la colocación de dos clavos de 3 mm bicorticales en lugar de un pin de 5 mm en tibia y fémur para evitar aflojamiento y fracturas. Finalmente, errores de ejecución en cortes y cementado pueden estar presentes, al estresar la sierra al momento del corte, hojas defectuosas o inadecuada impacción de los componentes sobre las superficies óseas durante el fraguado del cemento.^{3,18}

Existen estudios, incluyendo particularmente el metaanálisis de Mason y colaboradores,¹⁹ que refieren que de manera general, la restitución del eje mecánico es más confiable en los procedimientos de ATR navegadas, basados en las medidas intraoperatorias de los planos de resección, tomando como referencia las desviaciones estándares de las medias. Los datos reflejan que se presentan desviaciones del eje mecánico hasta



Figura 2. Plataforma con ordenador, sistema de rastreo con cámara óptica y monitor.

en 30.1 a 31.8% de las ATR realizadas de manera convencional y solamente un promedio de 9.0 a 12.8% de desviaciones en los grupos de ATR con navegación, reflejando una mejora sustancial tanto en alineamiento de los implantes como en restitución del eje mecánico.^{6,7,8,9,10,11,12,19,20,21,22,23,24,25,26}

Por otro lado, no hay diferencias estadísticamente significativas en los parámetros logrados para la posición del componente femoral en el plano sagital y axial, en este último tomando como referencia el eje transepicondilar.^{19,26}

De igual forma, se ha encontrado que apenas 5.8% de pacientes no queda en los rangos ideales con respecto a la posición del componente tibial en el plano coronal, mientras que hasta 12.4% presentó desviaciones con la técnica no navegada. Jefferey y su grupo observaron que esta diferencia aceleró 24% del tiempo para aflojamiento aséptico del componente tibial.²⁷ Sin embargo, esta mayor precisión en alineamiento no se tradujo necesariamente en un mejor resultado clínico en el seguimiento a corto plazo^{28,29,30,31} y existen varios estudios incluyendo un metaanálisis de Bauwens y asociados que reflejan que no hay diferencias significativas en los valores logrados para el eje mecánico entre la técnica navegada y la técnica convencional.^{32,33}

Recientemente se está trabajando más con implantes no cementados en ATR y ya estos se están colocando por vía navegada, obteniendo buenos resultados al unificar las ventajas del alineamiento preciso con la fijación *press fit*, corroborado tanto por las manifestaciones clínicas postope-

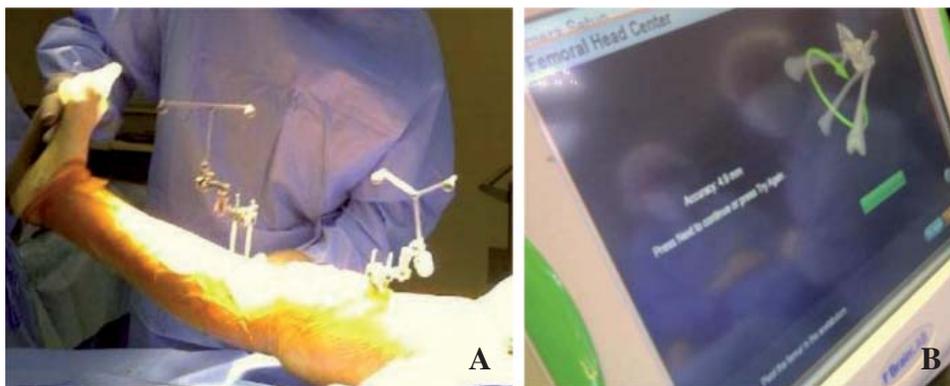


Figura 3.

A. Proceso de referenciación cinemática. **B.** Obtención de centro de cadera.

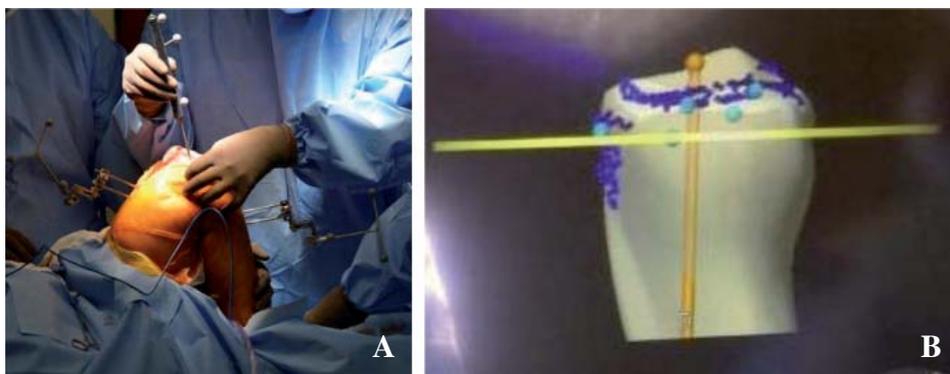


Figura 4.

A. Proceso de referenciación por puntos, demuestra el uso de las esferas reflectoras. **B.** Obtención de mapeo de superficie tibial lateral.

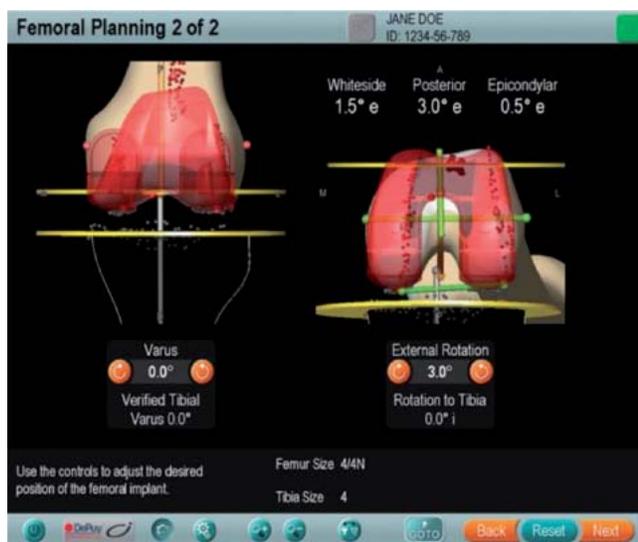


Figura 5. Obtención transoperatoria de alineación en valgo femoral, tamaño del componente y rotación femoral, así como espacios en extensión y flexión.

ratorias como por el seguimiento radiológico. El autor hace énfasis en la excelente osteointegración de los componentes de titanio con capas de microporos para lograr la interdigitación biológica.³⁴

La mayoría de autores comparan los resultados funcionales entre cirugía navegada y convencional. Los estudios por el momento no contemplan seguimientos mayores a 10 años y todavía son muy pocos los estudios que presentan ensayos clínicos controlados y de evidencia nivel 1, quedando pendiente identificar diferencias significativas en el desempeño clínico del paciente a largo plazo, pero se considera que la supervivencia de las prótesis colocadas con navegación será mayor y permitirá más ahorro, evitando transfusiones por la poca pérdida sanguínea durante este procedimiento y disminuyendo las potenciales revisiones por desgaste temprano debido al mal alineamiento. Las escalas más usadas para la evaluación funcional son el puntaje de rodilla de Oxford del inglés *Oxford Knee Score* (OKS) y el puntaje de la sociedad de rodilla del inglés *Knee Society Score* (KSS). Presentándose mejoras en rango de movilidad, dolor y calidad de vida en general hasta en 90% de los pacientes.^{35,36,37,38,39}

Es relevante mencionar que al igual que las prótesis colocadas convencionalmente, el beneficio de las prótesis por vía navegada continúa siendo variable o limitado en pacientes que presenta otras comorbilidades como coxartrosis no tratada, espondiloartrosis lumbar y Parkinson, en quienes las expectativas deben ser reajustadas y clarificadas con pacientes y familiares. De igual forma, debe escogerse al paciente, porque las deformidades angulares > 20 grados tienen resultados variables al igual que los casos de revisión que en ocasiones no son candidatos a navegación por dificultades como la pérdida de referencias y de sustrato óseo.⁴⁰

El factor constante que predispone a algunos cirujanos a implementar el uso de la artroplastia navegada a pesar de la

evidente mejoría y exactitud en colocación de los implantes con restitución del eje mecánico ideal, es el tiempo operatorio prolongado, de al menos 30 minutos más con respecto a la técnica convencional.^{19,20,21,22,28,31,33} Aunado a esto, está el hecho de que con las escalas funcionales, como la KSS, no se encuentran diferencias significativas a corto plazo, excepto por el menor sangrado transoperatorio.

Sin embargo, los que recomiendan el uso de la navegación se han apoyado en nueva evidencia que reporta que el tiempo prolongado no debe ser un problema y que a pesar de la estipulada curva de aprendizaje, no se han encontrado diferencias significativas en ejecución entre cirujanos que empiezan a realizar el cambio a la técnica navegada y los que ya tienen años realizándola, con los nuevos programas de computadora y con el conocimiento necesario de algunos años de realizar la ATR con técnica convencional, la brecha de tiempo y calidad de ejecución ha disminuido. De forma tal que si se dominan los pasos para la realización de la técnica navegada es muy confiable y reproducible. Un estudio encontró que el objetivo de encontrarse dentro de los valores normales de eje y posición de componentes se logró en 96% en un grupo de novatos en navegación y en 98% en el grupo de los expertos.⁴¹

El futuro y otras aplicaciones

Esto ha permitido e incentivado también que se haya comenzado a utilizar la navegación como ejercicio de entrenamiento en laboratorio, haciendo énfasis en los cuatro errores considerados más comunes dentro de los residentes en entrenamiento en artroplastia, siendo éstos; 1. desplazamiento de la guía de corte por fijación inadecuada con menos de tres clavos; 2. el efecto de usar guías con ranura o sin ranura para el corte; 3. el efecto que produce el estresar la hoja de la cierra hacia arriba o hacia abajo y 4. el efecto de hacer recortes para ajustar la precisión y lograr el corte planificado. Uno de estos estudios establece como conclusión y como relevancia clínica, que el utilizar los navegadores para el entrenamiento de residentes da una retroalimentación inmediata y confiable sobre la precisión y los errores a corregir en la ejecución de la técnica, aplicable tanto a la cirugía navegada como a la convencional, todo sin poner en riesgo la integridad de los pacientes.⁴²

Finalmente, la tecnología de navegación, se está aplicando más a la cirugía de artroplastia total de rodilla por técnica mínimamente invasiva (*minimally invasive surgery* - MIS) mejorando ampliamente los resultados a corto plazo de 10 días en cuanto a sangrado, dolor, rango de movilidad, cicatrización de partes blandas y marcha. Aunque estos resultados ya no hacen mayor diferencia con la técnica convencional a los seis meses posoperatorio, se considera que es de mucho beneficio para la recuperación más temprana y la satisfacción del paciente.^{43,44,45}

Se establece; sin embargo que se debe tener cuidado para evitar complicaciones con la colocación de los dispositivos y sensores porque la manipulación y el riesgo de

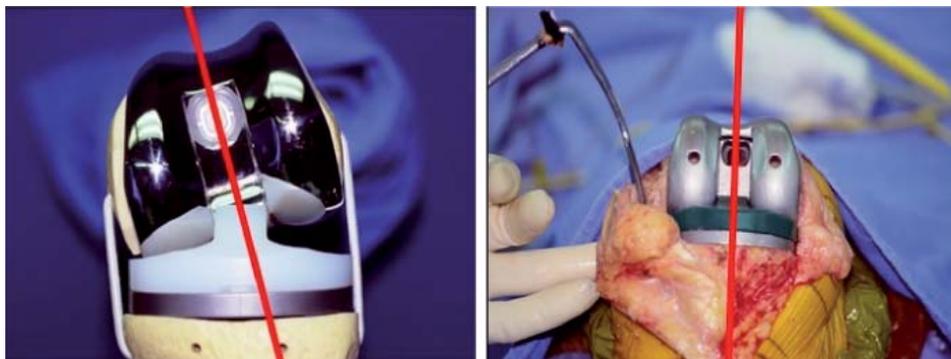


Figura 6.

A. Prótesis puesta sin balance ligamentario y sin navegación. **B.** Eje mecánico ideal con balance ligamentario adecuado.

movilización inadecuada es mayor con la técnica MIS, lo que puede resultar en errores inaceptables en los cortes y el alineamiento del miembro. Para corregir esto se están utilizando nuevos dispositivos transmisores electromagnéticos dentro del campo quirúrgico, que permiten minimizar estos inconvenientes de la navegación con cirugía mínimamente invasiva.⁴⁶

En la experiencia del autor la cirugía de navegación ha representado un método altamente confiable por su reproducibilidad y eficacia con aproximadamente 10 años de estar siendo utilizado con buenos resultados.

Ha significado una evolución en el manejo de las artrosis de rodilla por no presentar casos de desgaste o aflojamiento temprano, con satisfacción de los pacientes por resolución del dolor, movilidad y función temprana, asociado a recuperación rápida por mínima pérdida sanguínea. Y aunque no se ha podido realizar un estudio comparativo prospectivo de nivel I o comparativo de cohortes, se recomienda el uso y la implementación de la técnica navegada para obtener resultados más consistentes y con beneficios asegurados.

Es importante destacar entonces que si sólo ponemos una prótesis en el mismo eje que ya tiene el paciente, el inadecuado posicionamiento u orientación resulta en una excursión de movimientos femorotibial asimétrica con balance ligamentario inadecuado, llevando a cargas anormales en las superficies articulares y en las uniones hueso-implante más de un lado que de otro, que condicionan aflojamiento y desgaste prematuro de la prótesis, limitando la sobrevida del implante. De ahí la necesidad de alinear una prótesis lo más exacto posible con el eje mecánico ideal. Esto se puede lograr más efectivamente si se utiliza una computadora para ayudarnos a colocar la prótesis según las características de cada paciente, en lugar de instrumentos estándares a como es la técnica convencional (*Figura 6*).

Ventajas

La artroplastía total de rodilla navegada aumenta la precisión de las resecciones óseas, disminuye las probabilidades de mal posición de los implantes, permite estimar la línea articular intraoperatoriamente, obteniéndose un simultáneo ajuste y balance de partes blandas al mismo tiempo

que nos permite tener estabilidad con brechas de extensión y flexión simétricas.

Desventajas

La navegación requiere nuevos instrumentos no reusables como las esferas y aumenta el tiempo de operación hasta 30 minutos. El costo actual de la mayoría de los sistemas de navegación puede limitar su uso para las instituciones con bajo volumen de prótesis.

Conclusión

En la artroplastía total de rodilla (ATR), la reconstrucción de un eje mecánico neutro es de suma importancia para evitar fallo temprano de la prótesis por cargas inadecuadas sobre los componentes protésicos y la interfaz hueso implante. La artroplastia total de rodilla por vía navegada está demostrando ser una herramienta muy útil para lograr este objetivo, con un número creciente de adeptos. El cirujano debe escoger apropiadamente al paciente y familiarizarse con el sistema, además de mantener estricta atención a todos los posibles factores que puedan contribuir a errores de ejecución para asegurar el éxito de la cirugía.

Aunque todavía faltan estudios a largo plazo para consolidar los beneficios de la navegación de las prótesis, consideramos que se debe implementar siempre y cuando sea posible, dado que ofrece un método reproducible, eficaz y confiable, cuyos estudios continúan desde los primeros casos realizados con resultados y datos alentadores, para máxima longevidad de las prótesis.

Bibliografía

1. Hetaimish BM, Khan MM, Simunovic N, Al-Harbi HH, Bhandari M, Zalzal PK: Meta-analysis of navigation *versus* conventional total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2012; 27(6): 1177-82.
2. Saragaglia D: Computer-assisted total knee arthroplasty: 12 years' experience in Grenoble. *Bull Acad Natl Med*. 2009; 193(1): 91-104; discussion 104-5.
3. Bae DK, Song SJ: Computer assisted navigation in knee arthroplasty. *Clin Orthop Surg*. 2011; 3(4): 259-67.
4. Ensini A, Catani F, Leardini A, Romagnoli M, Giannini S: Alignments and clinical results in conventional and navigated total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2007; 457: 156-62.

5. Catani F, Biasca N, Ensini A, Leardini A, Bianchi L, Digennaro V: Alignment deviation between bone resection and final implant positioning in computer-navigated total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2008; 90(4): 765-71.
6. Matziolis G, Krockner D, Weiss U, Tohtz S, Perka C: A prospective, randomized study of computer-assisted and conventional total knee arthroplasty. Three-dimensional evaluation of implant alignment and rotation. *J Bone Joint Surg Am.* 2007; 89(2): 236-43.
7. Decking R, Markmann Y, Fuchs J, Puhl W, Scharf HP: Leg axis after computer-navigated total knee arthroplasty: a prospective randomized trial comparing computer-navigated and manual implantation. *J Arthroplasty.* 2005; 20(3): 282-8.
8. Tolk JJ, Koot HW, Janssen RP: Computer navigated versus conventional total knee arthroplasty. *J Knee Surg.* 2012; 25(4): 347-52.
9. Mombert M, Van Den Daelen L, Gunst P, Missinne L: Navigated total knee arthroplasty: a radiological analysis of 42 randomized cases. *Acta Orthop Belg.* 2007; 73(1): 49-54.
10. Fu Y, Wang M, Liu Y, Fu Q: Alignment outcomes in navigated total knee arthroplasty: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012; 20(6): 1075-82.
11. Chin PL, Yang KY, Yeo SJ, Lo NN: Randomized control trial comparing radiographic total knee arthroplasty implant placement using computer navigation versus conventional technique. *J Arthroplast.* 2005; 20: 618-26.
12. Bathis H, Perlick L, Tingart M: Alignment in total knee arthroplasty. A comparison of computer-assisted surgery with the conventional technique. *J Bone Joint Surg Br.* 2004; 86: 682-7.
13. Zamora LA, Humphreys KJ, Watt AM, Forel D, Cameron AL: Systematic review of computer-navigated total knee arthroplasty. *ANZ J Surg.* 2013; 83(1-2): 22-30.
14. Bohling U, Schamberger H, Grittner U: Computerized and technical navigation in total knee-arthroplasty. *J Orthop Traumatol.* 2005; 5: 69-75.
15. Hart R, Janecek M, Chaker A, Bucek P: Total knee arthroplasty implanted with and without kinematic navigation. *Int Orthop.* 2003; 27: 366-9.
16. Chauhan SK, Scott RG, Bredahl W: Computer assisted knee arthroplasty versus a conventional jig-based technique. A randomized, prospective trial. *J Bone Joint Surg Br.* 2004; 86: 372-7.
17. Jenny JY, Boeri C: Computer-assisted implantation of total knee prostheses: a case-control comparative study with classical instrumentation. *Comput Aided Surg.* 2001; 6: 217-20.
18. Kim TK, Chang CB, Kang YG, Chung BJ, Cho HJ, Seong SC: Execution accuracy of bone resection and implant fixation in computer assisted minimally invasive total knee arthroplasty. *Knee.* 2010; 17(1): 23-8.
19. Mason JB, Fehring TK, Estok R, Banel D, Fahrback K: Meta-analysis of alignment outcomes in computer-assisted total knee arthroplasty surgery. *J Arthroplasty.* 2007; 22(8): 1097-106.
20. Bertsch C, Holz U, Konrad G, Vakili A, Oberst M: Early clinical outcome after navigated total knee arthroplasty. Comparison with conventional implantation in TKA: a controlled and prospective analysis. Article in German. *Orthopade.* 2007; 36(8): 739-45.
21. Oberst M, Bertsch C, Wurstlin S, Holz U: CT analysis of leg alignment after conventional vs. navigated knee prosthesis implantation. Initial results of a controlled, prospective, and randomized study. *Unfallchirurg.* 2003; 106: 941-8.
22. Saragaglia D, Picard F, Chaussard C: Computer assisted knee arthroplasty: comparison with a conventional procedure. Results of 50 cases in a prospective randomized study. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2001; 87: 18-28.
23. Sparmann J, Wolke B, Czupalla H: Positioning of total knee arthroplasty with and without navigation support. *J Bone Joint Surg Br.* 2003; 85: 830-5.
24. Stulberg SD, Picard F, Saragaglia D: Computer-assisted total knee replacement arthroplasty. *Oper Tech Orthop.* 2003; 10: 25-39.
25. Lutzner J, Krummenauer F, Wolf C: Computer assisted and conventional total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br.* 2008; 90: 1039.
26. Victor J, Hoste D: Image-based computer-assisted total knee arthroplasty leads to lower variability in coronal alignment. *Clin Orthop Relat Res.* 2004; 428: 131-9.
27. Jeffery RS, Morris RW, Denham RA: Coronal alignment after total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br.* 1991; 73: 709.
28. Cheng T, Pan XY, Mao X, Zhang GY, Zhang XL: Little clinical advantage of computer-assisted navigation over conventional instrumentation in primary total knee arthroplasty at early follow-up. *Knee.* 2012; 19(4): 237-45.
29. Bonutti PM, Dethmers DA, McGrath MS, Ulrich SD, Mont MA: Navigation did not improve the precision of minimally invasive knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2008; 466(11): 2730-5.
30. Khan M, et al: Assessing short-term functional outcomes and knee alignment of computer-assisted navigated total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2011; 27: 271.
31. Choong P, Dowsey M, Stoney J: Does accurate anatomical alignment result in better function and quality of life? Comparing conventional and computer-assisted total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2009; 24: 560.
32. Bauwens K, Matthes G, Wich M, Gebhard F, Hanson B, Ekkernkamp A, Stengel D: Navigated total knee replacement. A meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2007; 89(2): 261-9.
33. Kim YH, Kim JS, Choi Y, Kwon OR: Computer-assisted surgical navigation does not improve the alignment and orientation of the components in total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2009; 91: 14-9.
34. Schüttrumpf JP, Balcarek P, Sehmisch S, Frosch S, Wachowski MM, Stürmer KM: Navigated cementless total knee arthroplasty - medium-term clinical and radiological results. *Open Orthop J.* 2012; 6: 160-3.
35. König DP, Michael JW, Eysel P, Münnich U, Lichtenstein T, Schnurr C: Computer-assisted joint replacement surgery. Financial and clinical impact for a specialized orthopaedic hospital. *Z Orthop Unfall.* 2009; 147(6): 669-74.
36. Saragaglia D, Picard F, Leitner F: An 8- to 10-year follow-up of 26 computer-assisted total knee arthroplasties. *Orthopedics.* 2007; 30(10 Suppl): S121-3.
37. Ishida K, Matsumoto T, Tsumura N, et al: Mid-term outcomes of computer-assisted total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011; 19(7): 1107-12.
38. Kalairajah Y, Simpson D, Cossey AJ, Verrall GM, Spriggins AJ: Blood loss after total knee replacement: effects of computer-assisted surgery. *J Bone Joint Surg Br.* 2005; 87(11): 1480-2.
39. 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(4): 570-8.
40. Peterlein CD, Schofer MD, Fuchs-Winkelmann S, Scherf FG: Clinical outcome and quality of life after computer-assisted total knee arthroplasty: results from a prospective, single-surgeon study and review of the literature. *Chir Organi Mov.* 2009; 93(3): 115-22.
41. Ballas R, Philpott R, Cartier JL, Boyer B, Farizon F: Computer-assisted total knee arthroplasty: impact of the surgeon's experience on the component placement. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013; 133(3): 397-403.
42. Love GJ, Kinninmonth AW: Training benefits of computer navigated total knee arthroplasty. *Knee.* 2013; 20(4): 236-41.
43. Hart R, Janecek M, Cizmár I, Stipčák V, Kucera B, Filan P: Minimally invasive and navigated implantation for total knee arthroplasty: X-ray analysis and early clinical results. [Article in German] *Orthopade.* 2006; 35(5): 552-7.
44. Tria AJ Jr. The evolving role of navigation in minimally invasive total knee arthroplasty. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2006; 35(7 Suppl): 18-22.
45. Biasca N, Schneider TO, Bungartz M: Minimally invasive computer-navigated total knee arthroplasty. *Orthop Clin North Am.* 2009; 40(4): 537-63.
46. Biasca N, Wirth S, Bungartz M: Mechanical accuracy of navigated minimally invasive total knee arthroplasty (MIS TKA). *Knee.* 2009; 16(1): 22-9.