

Técnica quirúrgica

doi: 10.35366/116314

Artroplastía total de rodilla navegada: una técnica quirúrgica alternativa para pacientes con gonartrosis en México

Navigated total knee arthroplasty: an alternative surgical technique for patients with gonarthrosis in Mexico

Palestino-Lara M,^{*,‡} Rosenthal-Perezman J,^{*,‡} Valles-Figueroa JF,^{*,§}
Rodríguez-Reséndiz F,^{*,¶} Olguín-Rodríguez M,^{*,¶} Zapata-Rivera S^{*,¶}

Hospital Español de México.

RESUMEN. La artroplastía total de rodilla consiste en el reemplazo artificial de la articulación de la rodilla en sus tres compartimientos. Uno de sus principales desafíos es la restauración anatómica de la línea articular. El alivio de dolor postoperatorio inadecuado puede alargar el tiempo de recuperación y aumentar los días de hospitalización y reintegro. La artroplastía total de rodilla navegada (ATRN) es considerada uno de los procedimientos más novedosos en el tratamiento de la artrosis de rodilla. Se introdujo a finales de los años 90 y actualmente existe una buena evidencia de que la navegación tiene mayor precisión en la colocación de los componentes protésicos, en comparación con la instrumentación manual, especialmente en la reducción de los valores atípicos de alineación del eje mecánico. Los defensores de ATRN han argumentado que esta técnica puede mejorar la puntuación de escalas funcionales, la alineación de los componentes, tasas de revisión y supervivencia, debido a que reduce el porcentaje de valores atípicos radiográficos en la alineación del plano coronal y sagital, mayor precisión en rotación axial de los componentes, mejora de la brecha en flexión y extensión y el balance de ligamentos. Se gana

ABSTRACT. Total knee arthroplasty consists of the artificial replacement of the knee joint in its three compartments. One of its main challenges is the anatomical restoration of the joint line. The relief of inappropriate postoperative pain can lengthen the recovery time and increase the days of intrahospital stay and readmission. Total Navigated Knee Arthroplasty is considered one of the most innovative procedures in the treatment of knee osteoarthritis. It was introduced in the late 90s and there is currently good evidence, that navigation has greater precision in the position of the prosthetic components, compared to a manual instrumentation, especially the reduction of the atypical alignment values of the mechanical axis. The supporters of (TNKA) have argued that this technique can improve the score of functional scales, the alignment of the prosthetic components, revision rates and survival, because it reduces the percentage of atypical radiographic values in the alignment of the coronal and sagittal plane, greater precision in axial rotation of the components, improvement of the flexion gap and the extension gap and the soft tissue balance. In general, experience is gained, learning curves

* Hospital Español. Ciudad de México, México.

‡ Residente de Alta Especialidad y Artroplastía y Artroscopía.

§ Médico Adscrito.

¶ Médico Asociado.

Correspondencia:

Dr. Juan Valles-Figueroa

E-mail: drvalles@yahoo.com.mx

Recibido: 22-01-2020. Aceptado: 16-04-2024.

Citar como: Palestino-Lara M, Rosenthal-Perezman J, Valles-Figueroa JF, Rodríguez-Reséndiz F, Olguín-Rodríguez M, Zapata-Rivera S. Artroplastía total de rodilla navegada: una técnica quirúrgica alternativa para pacientes con gonartrosis en México. Acta Ortop Mex. 2024; 38(4): 267-272. <https://dx.doi.org/10.35366/116314>



experiencia, se mejoran las curvas de aprendizaje y se disminuyen la tasa de complicaciones, con costos aceptables.

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

are improved and the complication rate is decreased with acceptable costs.

Keywords: knee, arthroplasty, navigation, surgical technique.

Abreviaturas:

ATR = artroplastía total de rodilla.

ATRN = artroplastía total de rodilla navegada.

Introducción

La artroplastía total de rodilla (ATR) consiste en el reemplazo artificial de la articulación de la rodilla en sus tres compartimientos mediante la implantación de componentes metálicos y una superficie de polietileno de ultra densidad.¹ Este procedimiento ha demostrado una alta probabilidad de mejorar las condiciones físicas del paciente con osteoartritis severa de rodilla, cuando el tratamiento conservador ha fallado.^{1,2}

Uno de los desafíos de la ATR es la restauración anatómica de la línea articular. Una línea articular incorrecta ha demostrado, tras estudios en cirugías de revisión, que no sólo conduce a la inestabilidad de la articulación, sino también a mayor incidencia de dolor anterior de rodilla y rezago de la flexión.^{3,4,5}

En la actualidad existe un consenso generalizado de que la alineación óptima en ATR se relaciona con el eje mecánico de la extremidad, corrigiendo cualquier deformidad a neutro y definiendo la posición de los componentes con respecto a un ideal mecánico teórico. Sin embargo, existe una amplia variación en la anatomía individual con respecto a la alineación fisiológica global de la extremidad, la oblicuidad de la línea articular, la flexión femoral, la pendiente tibial y la forma de las superficies articulares.^{5,6}

El alivio de dolor postoperatorio inadecuado puede alargar el tiempo de recuperación y aumentar los días de hospitalización y un posible reingreso.^{2,7}

La artroplastía total de rodilla navegada (ATRN) es considerada uno de los procedimientos más novedosos en el tratamiento de la artrosis de rodilla.⁸

Se introdujo en los hospitales a finales de los años 90 y actualmente existe una buena evidencia de que la navegación tiene mayor precisión en la posición de los componentes, en comparación con la instrumentación manual, especialmente la reducción de los valores atípicos de alineación del eje mecánico.

Para que este procedimiento sea exitoso, se requiere de una adecuada selección de pacientes, así como de planeación prequirúrgica, adecuado tamaño de implantes, seguimiento postoperatorio, movilidad temprana y rehabilitación física.^{8,9,10}

Los sistemas de navegación toman como referencia puntos anatómicos específicos en cada paciente y se realiza una

serie de mediciones que posteriormente se transfieren a una computadora y se procesan, usando un software (*Figura 1*). Éste es capaz de proporcionar a los cirujanos una mejor visualización gráfica y numérica, obteniendo así mayor grado de control y precisión al realizar el procedimiento.^{11,12}

El software realiza la medición sistemática, tomando en cuenta el centro de la cadera, rodilla y tobillo. El sistema de navegación consta de tres elementos: plataforma informática, sistema de seguimiento y marcador de cuerpo rígido (*Figuras 2 y 3*). El sistema visualiza los marcadores y rastrea sus movimientos con la ayuda de procesamiento informático dentro del espacio tridimensional.^{11,12,13,14}

La plataforma informática controla la coordinación de las entradas en el campo quirúrgico, interpretando los datos matemáticamente y mostrando los resultados en un monitor. El equipo está programado para conocer la forma y posición del instrumento, la sonda de puntero y el adaptador de bloque de corte y calcula la posición tridimensional de los rastreadores.^{14,15,16,17}

El sistema de seguimiento consiste en una cámara óptica, una bobina electromagnética o una sonda ultrasónica para detectar rayos infrarrojos, pulsos electromagnéticos u ondas ultrasónicas que se originan en los rastreadores (*Figura 4*).^{15,18,19}

Los marcadores activos emiten luz desde una bombilla y tienen una batería o cable como fuente de alimentación. El sistema de seguimiento y su ordenador asociado realizan un proceso de triangulación para determinar la posición de cada marcador.^{20,21}

La precisión de las referencias sin imágenes depende de la experiencia del cirujano en la elección de la referencia anatómica correcta.²²

Los principales sistemas de navegación en artroplastía total de rodilla son:

- El sistema de navegación sin tomografía computarizada OrthoPilot B-Braun® de Aesculap.
- Mako Total Knee replacement*, Stryker®.
- El sistema quirúrgico ROBODOC® que consta de dos componentes: ORTHODOC®, una estación de trabajo tridimensional (3-D) para la planificación quirúrgica preoperatoria y el asistente quirúrgico ROBODOC®, un robot quirúrgico controlado por computadora.

Los defensores de ATRN han argumentado que esta técnica puede mejorar la puntuación de las escalas funcionales: KSS (*Knee Society Score*), OKS (*Oxford Knee Score*)

y WOMAC (*Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index*),^{6,8} mejorar la alineación de los componentes, aumentar la supervivencia y disminuir las tasas de revisión. Todo esto debido a que reduce el porcentaje de valores atípicos radiográficos en la alineación del plano co-

ronal y sagital, hay mayor precisión en la rotación axial de los componentes, mejora de la brecha en flexión y extensión y mejora el balance ligamentario.^{10,22,23}

Los pros de esta técnica son la disminución de la tasa de complicaciones trans y postquirúrgicas, tiene costos accesibles por alta tecnología y posee la capacidad de registro de valores de alineación. Por lo tanto, se puede analizar la curva de aprendizaje del cirujano.^{10,11,22,24}

Discusión

Hart y Jaenecek reportaron, en una comparación de la ATR convencional con el sistema de navegación, que el tiempo quirúrgico en la ATRN fue de aproximadamente 10 a 15 minutos mayor que en el procedimiento convencional, tomando en cuenta el aprendizaje del cirujano y las mediciones establecidas por el software.^{20,25}

Song y Seon reportaron que la media del tiempo quirúrgico fue 25 minutos más larga para ATRN en comparación con el método convencional, sin presentar aumento en las complicaciones a corto y largo plazo.^{26,27,28}

Mason y colaboradores mencionan, en su metaanálisis, que la restitución del eje mecánico es más confiable en los procedimientos de ATR navegadas, basados en las medidas intraoperatorias de los planos de resección que en procedimientos convencionales.¹⁵

El metaanálisis de Bauwens concluyó que la artroplastía total de rodilla navegada reduce 25% el riesgo de mala alineación del eje mecánico al colocar los componentes de la prótesis.¹⁹ Sin embargo, Callaghan no encontró asociación entre las variaciones en la alineación anatómica y la durabilidad del implante.²⁹

Una gran ventaja es el tiempo de supervivencia de las prótesis y un menor sangrado durante el procedimiento quirúrgico, disminuyendo así las cirugías de revisión por desgaste temprano debido a la mala alineación.^{29,30,31}

En un reciente metaanálisis realizado por Brin y colaboradores, que consideró diferentes sistemas de navegación,

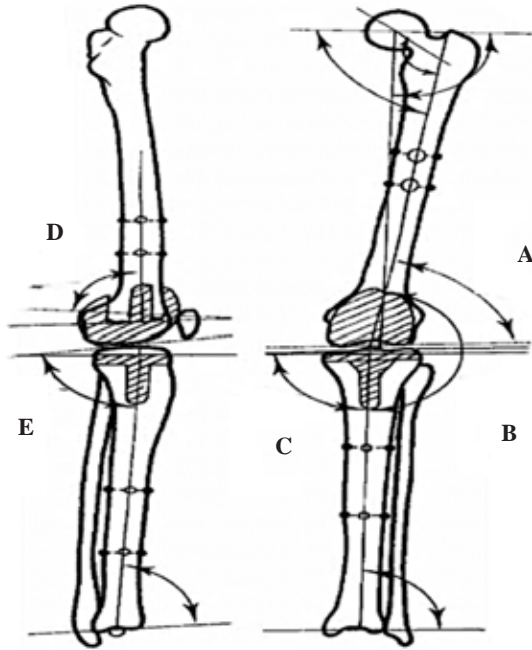


Figura 1: El ángulo anatómico femoral distal lateral (LDFA) se forma intersectando el eje anatómico femoral con la tangente a los cóndilos femorales en el plano frontal (letra **A**). El ángulo tibiofemoral anatómico lateral (LTFA) se forma intersectando el eje anatómico femoral con el eje anatómico tibial en el plano frontal (letra **B**). El ángulo tibial proximal medial (MPTA) se forma intersectando el eje anatómico tibial con la tangente a la meseta tibial en el plano frontal (letra **C**). El ángulo femoral distal posterior anatómico (PDFA) se forma intersectando el eje anatómico femoral y la línea de Blumensaat (preoperatoria) o la tangente al corte femoral distal (postoperatorio) en el plano sagital (letra **D**). El ángulo tibial proximal posterior anatómico (PPTA) se forma intersectando el eje anatómico tibial y la tangente a la meseta tibial en el plano sagital (letra **E**).²⁴



Figura 2: Plataforma informática con lector de infrarrojo.¹¹

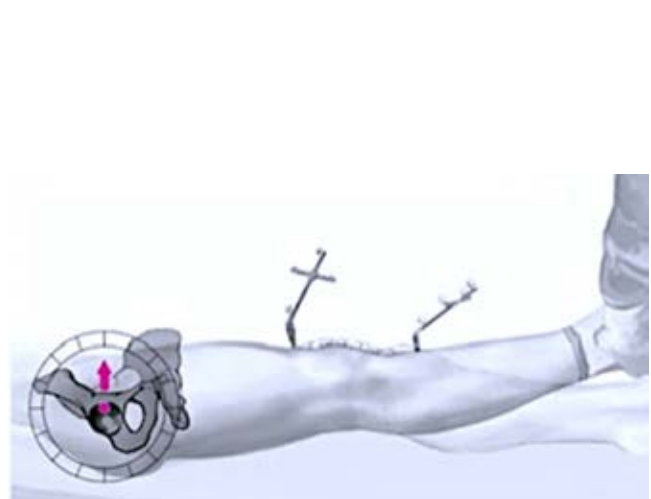


Figura 3: Procesamiento informático de la colocación de los pines.¹¹



Figura 4:

Determinación cinemática del centro de la cadera, rodilla y tobillo.¹¹

se encontró reducción de 80% en el número de valores atípicos, comparando la artroplastía de rodilla asistida por ordenador sin imágenes con el reemplazo de rodilla convencional.³²

Actualmente, la experiencia en México es limitada. En su artículo de revisión, Ochoa-Cázares R y colaboradores reportaron que la reconstrucción del eje mecánico neutro es de gran importancia para evitar la falla prematura de las prótesis; sin embargo, los costos del procedimiento aumentan y sólo deben utilizarse en pacientes previamente seleccionados por el cirujano y con alteraciones angulares específicas que justifiquen el uso de este software.³³

Joskowicz y Hazan destacan, en su artículo publicado en 2016, la importancia de la cirugía ortopédica asistida por computadora, en relación al envejecimiento constante de la población global y la creciente demanda de procedimientos quirúrgicos mínimamente invasivos, de los cuales se espera sean tres veces más solicitadas en 2019, brindando un gran campo de investigación e innovación para las nuevas tecnologías disponibles para los cirujanos ortopédicos en beneficio del paciente.³⁴

De Steiger y Graves realizaron un estudio de revisión en Australia, en el cual concluyeron que la ATRN redujo 13% la tasa de revisión general, aflojamiento y lisis en pacientes menores de 65 años en un período máximo de nueve años, destacando la importancia de realizar un seguimiento más largo.³⁵

Existe una disminución del sangrado en la ATRN, documentado por Kalairajh. El sangrado medio fue de 1351 ml (715 a 2,890; intervalo de confianza de 95% (IC95%): 1,183 a 1,518) en el grupo asistido por computadora y 1,747 ml (1,100 a 3,030; IC95% 1,581 a 1,912) en el grupo convencional y esta diferencia fue estadísticamente significativa ($p = 0.001$). En consecuencia, disminuye la tasa de transfusiones sanguíneas, lo que representa un ahorro para las instituciones de salud y una opción para pacientes que no aceptan transfusiones de hemoderivados.³⁶

La ATRN es de gran ayuda cuando la técnica convencional no es posible en pacientes con deformidades óseas

severas, osteomielitis y enfermedades cardiopulmonares graves.^{31,37,38} Un estudio realizado por Browne y colaboradores encontró que las ATRN tenían menos complicaciones cardíacas, menor tiempo de permanencia hospitalaria y tendencia hacia menos hematomas postoperatorios que en la ATR convencional.

El porcentaje de complicaciones cardíacas en el grupo navegado fue aproximadamente de la mitad del observado en el grupo estándar (0.51% versus 0.97%), un hallazgo que permaneció estadísticamente significativo en el análisis de regresión.³⁹

Un estudio multicéntrico realizado en España con diferentes métodos de navegación mostró que el sistema de instrumentación manual en general tiende a colocar los implantes en varo, un error que es mejorado cuando se usa la navegación.²⁵

Kayani y colaboradores demostraron una disminución de aproximadamente 30 horas en la estancia hospitalaria con asistencia robótica en comparación con las técnicas convencionales, con una estadía promedio más corta que la ATR convencional (0.1 días) relacionada con una recuperación funcional más rápida y efectiva.^{39,40}

Las desventajas de realizar este procedimiento bajo navegación son el aumento de costo del procedimiento, por el equipo tecnológico y la capacitación extra del personal de salud.^{11,29}

Actualmente, se requiere de más estudios que justifiquen un mayor uso de la cirugía asistida por computadora como lo describen Antonios y colaboradores, que proporcionan estimaciones nacionales del uso de la navegación por computadora y la asistencia robótica en artroplastías totales de rodilla y demuestran las diferencias regionales y demográficas asociadas con estas tecnologías en Estados Unidos.⁴¹

Conclusiones

Es necesario realizar más investigación acerca de la ATR en México, ya que, de toda la literatura consultada, únicamente se encontraron dos artículos que mencionan la expe-

riencia de este procedimiento en nuestro país con sistema de navegación.

La mayoría de los autores coinciden en el beneficio proporcionado por este procedimiento, principalmente en mejorar la alineación del implante, restituyendo el eje mecánico neutro, se disminuyen complicaciones postoperatorias, hay reducción de la estancia intrahospitalaria, menor sangrado, mayor precisión quirúrgica y una evolución postoperatoria favorable. Esto justifica su uso en el paciente con gonartrosis, a pesar del mayor costo.

Los cirujanos deben recibir una capacitación especial para utilizar este sistema, lo cual se justificaría como un proceso de educación continua, evaluación, actualización y docencia en ortopedia.

Se encontró como limitación que, en la mayoría de los artículos revisados, el seguimiento postquirúrgico dado a los pacientes con el sistema de navegación es menor a 10 años. Por lo tanto, falta evaluar el seguimiento a largo plazo de los implantes colocados con este sistema.

Referencias

- Golubovic Z, Mitkovic M, Macukanovic-Golubovic L, Micic I, Stojiljkovic P, Kutlesic-Stojanovic K, et al. Treatment of gonarthrosis by total knee arthroplasty. *Biotechnol Biotechnol Equip.* 2006; 20(3): 145-49. doi: 10.1080/13102818.2006.10817393.
- Xie F, Lo NN, Pullenayegum EM, Tarride JE, O'Reilly DJ, Goeree R, et al. Evaluation of health outcomes in osteoarthritis patients after total knee replacement: a two-year follow-up. *Health Qual Life Outcomes.* 2010; 8: 87. doi: 10.1186/1477-7525-8-87.
- Partington PF, Sawhney J, Rorabeck CH, Barrack RL, Moore J. Joint line restoration after revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1999; (367): 165-71.
- Vera-Avilés FA, Negrete-Corona J, Jiménez-Aquino JM. Artroplastía total de rodilla, pronóstico al restablecer la línea articular. *Acta Ortop Mex.* 2012; 26(6): 362-268.
- Singerman R, Heiple KG, Davy DT, Goldberg VM. Effect of tibial component position on patellar strain following total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 1995; 10(5): 651-6. doi: 10.1016/s0883-5403(05)80210-4.
- Calliess T, Ettinger M, Savov P, Karkosch R, Windhagen H. Individualized alignment in total knee arthroplasty using image-based robotic assistance: Video article. *Orthopade.* 2018; 47(10): 871-879. doi: 10.1007/s00132-018-3637-1.
- Salerno A, Hermann A. Efficacy and safety of steroid use for postoperative pain relief. Update and review of the medical literature. *J Bone Joint Surg Am.* 2006; 88(6): 1361-72. doi: 10.2106/JBJS.D.03018.
- Burnett RS, Barrack RL. Computer-assisted total knee arthroplasty is currently of no proven clinical benefit: a systematic review. *Clin Orthop Relat Res.* 2013; 471(1): 264-76. doi: 10.1007/s11999-012-2528-8.
- Berend ME, Ritter MA, Meding JB, Faris PM, Keating EM, Redelman R, et al. Tibial component failure mechanisms in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2004; 428: 26-34. doi: 10.1097/01.blo.0000148578.22729.0e.
- Ishida K, Matsumoto T, Tsumura N, Kubo S, Kitagawa A, Chin T, et al. Mid-term outcomes of computer-assisted total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011; 19(7): 1107-1112. doi: 10.1007/s00167-010-1361-4.
- Magin MN. Computernavigierter Gelenkersatz am Knie mit dem Orthopilot [Computer-assisted total knee replacement (TKR) using Orthopilot navigation system]. *Oper Orthop Traumatol.* 2010; 22(1): 63-80. doi: 10.1007/s00064-010-3007-1.
- Moon YW, Ha CW, Do KH, Kim CY, Han JH, Na SE, et al. Comparison of robot-assisted and conventional total knee arthroplasty: a controlled cadaver study using multiparameter quantitative three-dimensional CT assessment of alignment. *Comput Aided Surg.* 2012; 17(2): 86-95. doi: 10.3109/10929088.2012.654408.
- da Mota E Albuquerque RF. Navigation in total knee arthroplasty. *Rev Bras Ortop.* 2015; 46(1): 18-22. doi: 10.1016/S2255-4971(15)30169-5.
- Song EK, Seon JK, Yim JH, Netravali NA, Bargar WL. Robotic-assisted TKA reduces postoperative alignment outliers and improves gap balance compared to conventional TKA. *Clin Orthop Relat Res.* 2013; 471(1): 118-26. doi: 10.1007/s11999-012-2407-3.
- Mason JB, Fehring TK, Estok R, Banel D, Fahrbach K. Meta-analysis of alignment outcomes in computer-assisted total knee arthroplasty surgery. *J Arthroplasty.* 2007; 22(8): 1097-106. doi: 10.1016/j.arth.2007.08.001.
- Bae DK, Song SJ. Computer assisted navigation in knee arthroplasty. *Clin Orthop Surg.* 2011; 3(4): 259-67. doi: 10.4055/cios.2011.3.4.259.
- 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. doi: 10.1016/j.knee.2009.06.004.
- Graydon AJ, Malak S, Anderson IA, Pitto RP. Evaluation of accuracy of an electromagnetic computer-assisted navigation system in total knee arthroplasty. *Int Orthop.* 2009; 33(4): 975-9. doi: 10.1007/s00264-008-0586-z.
- Bauwens K, Matthes G, Wich M, Gebhard F, Hanson B, Ekkernkamp A, et al. Navigated total knee replacement. A meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2007; 89(2): 261-9. doi: 10.2106/JBJS.F.00601.
- Hart R, Janecek M, Cizmár I, Stipčák V, Kucera B, Filan P. Minimal-invasive and navigierte implantation von knietotalendoprothesen: radiologische analyse und frühe klinische ergebnisse [Minimally invasive and navigated implantation for total knee arthroplasty: X-ray analysis and early clinical results]. *Orthopade.* 2006; 35(5): 552-7. doi: 10.1007/s00132-006-0929-7.
- Bohling U, Schamberger H, Grittner U, Scholz J. Computerised and technical navigation in total knee-arthroplasty. *J Orthopaed Traumatol.* 2005; 6: 69-75. doi: 10.1007/s10195-005-0084-7.
- Matsumoto T, Tsumura N, Kurosaka M, Muratsu H, Kuroda R, Ishimoto K, et al. Prosthetic alignment and sizing in computer-assisted total knee arthroplasty. *Int Orthop.* 2004; 28(5): 282-5. doi: 10.1007/s00264-004-0562-1.
- Tolk JJ, Koot HW, Janssen RP. Computer navigated versus conventional total knee arthroplasty. *J Knee Surg.* 2012; 25(4): 347-52. doi: 10.1055/s-0031-1299670.
- Hart R, Janecek M, Chaker A, Bucek P. Total knee arthroplasty implanted with and without kinematic navigation. *Int Orthop.* 2003; 27(6): 366-9. doi: 10.1007/s00264-003-0501-6.
- Maculé-Beneyto F, Hernández-Vaquero D, Segur-Vilalta JM, Colomina-Rodríguez R, Hinarejos-Gomez P, García-Forcada I, et al. Navigation in total knee arthroplasty. A multicenter study. *Int Orthop.* 2006; 30(6): 536-40. doi: 10.1007/s00264-006-0126-7.
- Song EK, Seon JK, Park SJ, Jung WB, Park HW, Lee GW. Simultaneous bilateral total knee arthroplasty with robotic and conventional techniques: a prospective, randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011; 19(7): 1069-1076. doi: 10.1007/s00167-011-1400-9.
- Prasad N, Padmanabhan V, Mullaji A. Blood loss in total knee arthroplasty: an analysis of risk factors. *Int Orthop.* 2007; 31(1): 39-44. doi: 10.1007/s00264-006-0096-9.
- Bellemans J, Vandenuecker H, Vanlauwe J. Robot-assisted total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2007; 464: 111-116. doi: 10.1097/BLO.0b013e318126c0c0.
- Callaghan JJ, Liu SS, Warth LC. Computer-assisted surgery: a wine before its time: in the affirmative. *J Arthroplasty.* 2006; 21(4 Suppl 1): 27-8. doi: 10.1016/j.arth.2006.01.009.
- Konig DP, Michael JW, Eysel P, Münnich U, Lichtenstein T, Schnurr C. Navigation in der Endoprothetik. Die Kosten-Nutzen-Analyse einer orthopädischen Fachklinik [Computer-assisted joint replacement surgery. Financial and clinical impact for a specialised orthopaedic

- hospital]. *Z Orthop Unfall*. 2009; 147(6): 669-74. doi: 10.1055/s-0029-1185916.
31. Pitto RP, Graydon AJ, Bradley L, Malak SF, Walker CG, Anderson IA. Accuracy of a computer-assisted navigation system for total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2006; 88(5): 601-5. doi: 10.1302/0301-620X.88B5.17431.
 32. Brin YS, Nikolaou VS, Joseph L, Zukor DJ, Antoniou J. Imageless computer assisted versus conventional total knee replacement. A Bayesian meta-analysis of 23 comparative studies. *Int Orthop*. 2011; 35(3): 331-9. doi: 10.1007/s00264-010-1008-6.
 33. Ochoa-Cázares R, Cuadra-Castillo M. Artroplastía total de rodilla navegada. ¿Por qué utilizarla? *Acta Ortop Mex*. 2013; 27(3): 205-210.
 34. Joskowicz L, Hazan EJ. Computer-aided orthopedic surgery: Incremental shift or paradigm change? *Adv Exp Med Biol*. 2018; 1093: 21-30. doi: 10.1007/978-981-13-1396-7_2.
 35. de Steiger RN, Liu YL, Graves SE. Computer navigation for total knee arthroplasty reduces revision rate for patients less than sixty-five years of age. *J Bone Joint Surg Am*. 2015; 97(8): 635-42. doi: 10.2106/JBJS.M.01496.
 36. 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. doi: 10.1302/0301-620X.87B11.16474.
 37. Magin MN. Computernavigierter Gelenkersatz am Knie mit dem Orthopilot [Computer-assisted total knee replacement (TKR) using Orthopilot navigation system]. *Oper Orthop Traumatol*. 2010; 22(1): 63-80. doi: 10.1007/s00064-010-3007-1.
 38. Fehring TK, Mason JB, Moskal J, Pollock DC, Mann J, Williams VJ. When computer-assisted knee replacement is the best alternative. *Clin Orthop Relat Res*. 2006; 452: 132-6. doi: 10.1097/01.blo.0000229363.50361.25.
 39. Browne JA, Cook C, Hofmann AA, Bolognesi MP. Postoperative morbidity and mortality following total knee arthroplasty with computer navigation. *Knee*. 2010; 17(2): 152-6. doi: 10.1016/j.knee.2009.08.002.
 40. Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J*. 2018; 100-B(7): 930-937. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1.
 41. Antonios JK, Korber S, Sivasundaram L, Mayfield C, Kang HP, Oakes DA, et al. Trends in computer navigation and robotic assistance for total knee arthroplasty in the United States: an analysis of patient and hospital factors. *Arthroplast Today*. 2019; 5(1): 88-95. doi: 10.1016/j.artd.2019.01.002.