

# Beneficios de la navegación en la artroplastia de rodilla. Artículo de revisión

## *Benefits of computer-assisted navigation in knee arthroplasty. Review*

Gómez Palomo, Juan Miguel<sup>1</sup>  
Fernández Hijano, Manuel Rafael<sup>1</sup>  
Martínez Crespo, Ana<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hospital Universitario Virgen de la Victoria, Málaga. Instituto de Investigación Biomédica de Málaga (IBIMA)

<sup>2</sup> Hospital de Montilla, Córdoba.

[jmgomezpalomo@gmail.com](mailto:jmgomezpalomo@gmail.com)

Rev. S. And. Traum. y Ort., 2020; 37 (2/4): 17-27

Recepción: 14/10/2020. Aceptación: 30/10/2020

### Resumen

El progreso en los sistemas de navegación ha supuesto un incremento en el uso de la cirugía navegada. La artroplastia de rodilla asistida por navegación permite alcanzar una alineación más precisa y facilita el correcto posicionamiento de los componentes protésicos, con una menor incidencia de valores atípicos, lo que podría traducirse en una mayor supervivencia de la prótesis y una menor tasa de revisión.

**Palabras clave:** Artroplastia, prótesis, rodilla, cirugía navegada.

### Abstract

*Progress in computer navigation systems has led to an increase in the use of computer-assisted surgery. Computer-navigated knee arthroplasty allows for more accurate alignment and facilitates proper positioning of prosthetic components, with a lower incidence of outliers, which could result in increased prosthesis survivorship and a lower revision rate.*

**Keywords:** Arthroplasty, Replacement, Knee, Computer-Assisted Surgery

### Método

Se realizó una búsqueda preliminar en *Trip Database*, *Up ToDate* y *Google Académico*. A continuación, se llevó a cabo una búsqueda en *Medline*, *Embase* y *SCOPUS*, utilizando lenguaje libre y controlado con tesauros. Los descriptores usados fueron: *Arthroplasty*, *Replacement*, *Knee*,

*Surgery*, *Computer-Assisted*. Así, el número de resultados ascendió a 1750 artículos. Se aplicó como filtro de búsqueda “publicados en los últimos 5 años”, reduciéndose los resultados a 475. Estos manuscritos fueron revisados utilizando como criterios de inclusión aquellos trabajos que, además

de responder a los diferentes puntos de controversia que encontramos en la artroplastia de rodilla navegada, presentaban una mayor transparencia y rigor metodológico. Con todo ello, finalmente, se seleccionaron un total de 84 artículos, que se reflejan en el presente manuscrito.

## Revisión

La artroplastia de rodilla constituye uno de los mayores avances en cirugía ortopédica. El desarrollo de nuevos implantes y una técnica cada vez más depurada ha permitido mejorar de forma considerable la calidad de vida de los pacientes con artrosis de rodilla. A pesar de ello, en torno al 20 % de los pacientes sometidos a dicho procedimiento refieren no estar satisfechos. Este hecho se produce motivado por diversos factores, entre los que destacan los dependientes de la técnica quirúrgica<sup>1</sup>. En este sentido, la cirugía navegada ofrece una herramienta valiosa, que permite alcanzar una alineación precisa y un adecuado posicionamiento de los componentes protésicos, lo que podría acompañarse de una mejora de la función y un incremento en la supervivencia de la prótesis<sup>2</sup>.

Los navegadores utilizados en la artroplastia de rodilla estiman de forma precisa los parámetros cinemáticos, permitiendo reproducir la biomecánica durante la marcha<sup>3,4</sup>. Sasaki et al.<sup>5</sup> presentan un trabajo en el que se evalúa la utilización de tres navegadores diferentes, frente a una instrumentación convencional, apreciando que todos ellos permitieron conseguir una alineación mecánica con una mayor precisión y una menor incidencia de valores atípicos. Se han realizado estudios que analizan la concordancia entre los parámetros recogidos con el navegador y lo observado en el estudio radiográfico<sup>6</sup>. A este respecto, Hernández-Vaquero et al.<sup>7</sup> exponen que existe una fuerte concordancia entre la medición del eje mecánico en telemetría y mediante navegación ( $p < 0.001$ ). Esta concordancia también se ha evidenciado entre los parámetros recogidos con una TC, pre y postoperatoria, y mediciones realizadas con el navegador<sup>8</sup>. Asimismo, Wada et al.<sup>9</sup> indican que también existiría una elevada concordancia entre distintos observadores en la medición con navegador de diversos parámetros, como la rotación axial de la tibia y la alineación en el eje coronal.

En los últimos años se está produciendo un crecimiento progresivo en la artroplastia de rodilla asistida por navegación. El artículo publicado por Boylan et al.<sup>10</sup> describe un incremento del 4.3% al 11.6% entre el año 2008 y 2015 ( $p < 0.001$ ). También pone de manifiesto un aumento progresivo en los cirujanos y hospitales que realizan artroplastias navegadas de rodilla, pasando del 6.2% y el 16.2% en 2008, al 17.1% y el 29.2% en 2015, respectivamente ( $p < 0.001$ ). Este crecimiento no resulta uniforme, pues podría ser mayor en aquellos hospitales que llevan a cabo un elevado número de artroplastias de rodilla frente a los hospitales con un menor volumen de dicho procedimiento.

La evidencia disponible indica que el número de artroplastias de rodilla que se realizan en un centro hospitalario podría estar relacionado con los resultados alcanzados con dicho procedimiento<sup>11</sup>. Así pues, la realización de un número elevado contribuye a una mejora en la selección de los pacientes, en la técnica quirúrgica y en los resultados obtenidos. Badawy et al.<sup>12</sup> analizaron los datos del Registro de Artroplastias de Noruega, describiendo que la tasa de revisión era un 27% menor cuando el paciente era intervenido en centros hospitalarios donde se llevaba a cabo un elevado número de artroplastias de rodilla. A este respecto, la navegación puede contribuir a que aquellos cirujanos con menos experiencia, que realizan un menor volumen de dicho procedimiento, consigan implantar la prótesis de rodilla de forma más precisa, disminuyendo así la tasa de revisión y aumentando la supervivencia de la prótesis<sup>13</sup>.

Como se ha mencionado, la insatisfacción tras una artroplastia de rodilla es un fenómeno ampliamente estudiado, que depende de múltiples factores, entre los que se encuentran la alineación y el posicionamiento de los componentes protésicos<sup>14</sup>. Diversos trabajos han puesto de manifiesto que el uso de la navegación permite alcanzar una alineación más precisa y predecible en los tres ejes del espacio, con una menor incidencia de valores atípicos<sup>15,16</sup>. A este respecto, autores como Liow et al. afirman que, probablemente, la principal ventaja de la artroplastia de rodilla navegada es la posibilidad de conseguir una alineación más exacta y facilitar el correcto posicionamiento de los componentes de la prótesis<sup>17,18</sup>.

La navegación ha mostrado ser de utilidad para la implantación de prótesis de rodilla en pacientes con deformidades angulares. Miyasaka et al.<sup>19</sup> informan que en los pacientes con una desalineación en varo, el uso de cirugía navegada puede disminuir la incidencia de valores atípicos derivados del posicionamiento del componente femoral en varo. Así pues, en el grupo tratado con cirugía convencional se observaron hasta 17 valores atípicos frente a 10 apreciados en el grupo asistido por navegación. En este sentido, Benavente et al.<sup>20</sup> exponen que los mayores beneficios podrían darse en aquellos pacientes con deformidades en varo de entre 10 y 15 grados. Por otro lado, también ofrece ventajas en pacientes con desalineaciones en valgo, en los que también se ha constatado una menor incidencia valores atípicos en la alineación de la extremidad y la colocación del componente femoral, sin apreciarse diferencias significativas en lo que respecta al posicionamiento del componente tibial<sup>21</sup>. Kornilov et al.<sup>22</sup> manifiestan que la cirugía navegada supone una herramienta apropiada para la implantación de una prótesis de rodilla en pacientes con una deformidad en valgo, pues permite alcanzar una alineación correcta y un equilibrio ligamentoso adecuado.

Del mismo modo, se han estudiado los posibles beneficios de la navegación en pacientes con deformidades en flexión. En el trabajo realizado por Bin Abd Razak et al.<sup>23</sup>, tras analizar los resultados obtenidos en un grupo de pacientes tratado con artroplastia de rodilla navegada, frente a otro grupo sometido a una instrumentación convencional, observaron que el grupo intervenido con navegación presentaba una menor incidencia de contractura en flexión y un menor número de pacientes con una contractura superior a los 5 grados. A este respecto, Kim et al.<sup>24</sup> refieren que una liberación medial y un incremento en el corte femoral distal, asistidos por navegación, constituyen una estrategia idónea en el paciente con una deformidad en flexo.

La navegación también supone un recurso muy útil en pacientes que presentan una deformidad extraarticular. En estos casos, donde la instrumentación convencional no garantiza una alineación satisfactoria, la cirugía navegada permite conseguir una alineación y un posicionamiento adecuado de los implantes protésicos<sup>25</sup>. El

artículo publicado por Bae et al.<sup>26</sup> concluye que, ante la presencia de una deformidad extraarticular, la alineación alcanzada en el plano coronal es más exacta cuando la cirugía se lleva a cabo asistida por navegación. Aunque las deformidades extraarticulares suelen relacionarse con un origen postraumático, también pueden encontrarse en pacientes con displasias óseas, como la acondroplasia. En este sentido, Koudela et al.<sup>27</sup> advierten que la navegación supone un instrumento apropiado para la implantación de una prótesis de rodilla en el paciente con una deformidad extraarticular secundaria a acondroplasia, permitiendo restaurar el eje mecánico, el rango de movilidad y la estabilidad articular.

Asimismo, se han analizado los resultados que ofrece la artroplastia navegada en pacientes que previamente se habían intervenido de una osteotomía correctora. Saragaglia et al.<sup>28</sup> presentan una serie de casos tratados con prótesis total de rodilla asistida por navegación tras haber sido sometidos a una osteotomía de apertura medial en el pasado, no observándose diferencias significativas respecto a los resultados obtenidos con la artroplastia navegada de rodilla sin osteotomía previa.

Diversos trabajos, como el realizado por Di Benedetto et al.<sup>29</sup>, ponen de manifiesto que la cirugía navegada, además de mejorar la precisión y exactitud en la alineación, facilita el correcto posicionamiento de los componentes protésicos. Loh et al.<sup>30</sup> exponen que permite implantar el componente femoral de forma más precisa, disminuyendo los valores atípicos hasta un 7% en el grupo de pacientes tratado con cirugía navegada, frente a un 17% en el grupo sometido a cirugía convencional ( $p < 0.03$ ).

Resulta fundamental determinar la rotación del componente femoral y tibial de forma correcta, pues la malrotación se ha descrito como causa posible de insatisfacción en el paciente<sup>31</sup>. El manuscrito publicado por Mitsuhashi et al.<sup>32</sup> señala que la navegación contribuye a colocar el componente tibial con la rotación apropiada, reduciendo la incidencia de valores atípicos. De la misma manera, proporciona datos fiables sobre la rotación del componente femoral, pudiendo no ser necesaria la valoración mediante una TC<sup>33</sup>. Este hecho fue corroborado en el trabajo llevado a cabo por Hernández-Vaquero et al.<sup>34</sup>, en el cual se describe

que la navegación permite replicar con exactitud los tres grados ideales de rotación en el componente femoral.

Aunque parece evidente que la navegación contribuye a mejorar la alineación y el posicionamiento de los componentes protésicos, aún existe controversia respecto a su repercusión en los resultados funcionales<sup>35</sup>. Diversos autores informan que los resultados conseguidos con la artroplastia navegada, frente a la cirugía convencional, podrían ser similares<sup>36, 37, 38</sup>. Hsu et al.<sup>39</sup> presentan un estudio retrospectivo con 60 pacientes intervenidos de prótesis de rodilla en ambas extremidades. Así pues, tras un proceso de aleatorización, una de las extremidades fue intervenida con cirugía navegada y la otra con instrumentación convencional. Finalmente, se observó que aquellas rodillas tratadas con navegación presentaban una alineación radiográfica más precisa, con menos valores atípicos, sin embargo, no se apreciaron diferencias significativas en las escalas HSS, IKS, WOMAC Y SF-36.

Por el contrario, diferentes autores afirman que la artroplastia de rodilla navegada, además de contribuir en la alineación y el posicionamiento de los implantes, podría ofrecer mejores resultados funcionales<sup>40</sup>. A este respecto, Chin et al.<sup>41</sup> presentan un metaanálisis con ensayos clínicos de nivel I y II, en el cual los pacientes intervenidos con navegación presentaron mejores puntuaciones en la escala KSS. Asimismo, Li et al.<sup>42</sup> advierten que podría contribuir a una recuperación más rápida, con una estancia hospitalaria más corta. Panjwani et al.<sup>43</sup> aportan otro metaanálisis, con un seguimiento de hasta 8 años, en el que los pacientes intervenidos de prótesis de rodilla asistida por navegación también presentaron mejores resultados en la escala KSS y WOMAC. En consonancia con lo anterior, Pertusson et al.<sup>44</sup>, tras analizar los resultados obtenidos en un estudio multicéntrico, afirmaron que la navegación, además de mejorar los resultados funcionales, podría proporcionar un mayor alivio del dolor.

Otro aspecto discutido es la posible influencia de la navegación en la supervivencia de la prótesis. Algunos autores promulgan que no existen diferencias significativas en la supervivencia de los implantes ni en la tasa de revisión entre la artroplastia de rodilla navegada y la instrumentación

convencional<sup>45,46</sup>. En este sentido, encontramos un estudio prospectivo y aleatorizado realizado por Cip et al.<sup>47</sup>, con 12 años de seguimiento, en el que no se observaron diferencias significativas entre la cirugía navegada y la convencional respecto a la supervivencia de la prótesis. A diferencia de lo anterior, varios autores ponen de manifiesto que la navegación sí que permitiría alcanzar una mayor supervivencia de los implantes protésicos, motivada por una alineación más precisa y una mayor exactitud en el posicionamiento de los componentes<sup>48,49,50</sup>. Con un seguimiento de hasta 8 años, Dyrhovden et al.<sup>51</sup> informan que la supervivencia de la prótesis sería superior con la cirugía navegada, presentando una tasa inferior de revisiones. En la misma línea se encuentra lo publicado por De Steiger et al.<sup>52</sup>, que advierten que la navegación podría acompañarse de menores tasas de revisión, especialmente en pacientes menores de 65 años. Baumbach et al.<sup>53</sup> describen una tasa de aflojamiento aséptico del 17% en pacientes sometidos a cirugía convencional, frente a un 9.8% con la cirugía navegada.

Diversos trabajos concluyen que la técnica navegada puede disminuir la necesidad de transfusión perioperatoria, pues evita la introducción de una guía intramedular femoral para determinar la alineación. A este respecto, aunque en el artículo publicado por Singla et al.<sup>54</sup> no se aprecian diferencias entre la cirugía navegada y la convencional, la mayoría de los autores coinciden en que la navegación reduce la pérdida de sangre y la necesidad de transfusión perioperatoria (odds ratio 1.90,  $P < 0.001$ )<sup>55,56,57</sup>.

Del mismo modo, la posibilidad de eludir la invasión del canal medular femoral también se ha relacionado con una disminución en los niveles de marcadores inflamatorios y una menor incidencia de embolia grasa<sup>58</sup>. Kuo et al.<sup>59</sup> cuantificaron los niveles de marcadores inflamatorios en dos grupos de pacientes, un primer grupo sometido a una prótesis de rodilla convencional y el segundo grupo tratado con cirugía navegada. En las 24-72 horas posteriores a la cirugía se midieron los niveles de IL-6, IL-10, factor de necrosis tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ) y el factor transformante de crecimiento beta 1 (TGF- $\beta$ 1), apreciando que dichos marcadores inflamatorios eran inferiores en la cohorte tratada con artroplastia navegada. También se han

observado niveles inferiores de marcadores de daño endotelial en los pacientes intervenidos con navegación, tanto en el suero como en el drenaje postoperatorio<sup>60</sup>. En el trabajo llevado a cabo por Siu et al.<sup>61</sup> se describe cómo los pacientes intervenidos de artroplastia de rodilla navegada, a las 24 horas de la cirugía, presentaban niveles de dímero D (marcador trombótico) en plasma significativamente más bajos que aquellos sometidos a una instrumentación convencional.

Respecto a qué tipo de alineación utilizar cuando se realiza cirugía navegada, la mayoría de autores continúan recomendando la alineación mecánica, sin embargo, algunos como Hutt et al.<sup>62</sup> informan que el uso de una alineación cinemática asistida por navegador preserva la isometría ligamentosa y podría ofrecer mejores resultados funcionales. También se han analizado los posibles beneficios de la técnica de *gap balancing*, frente a la resección a medida. Referente a ello, varios autores ponen de manifiesto las ventajas de la técnica *gap balancing*, la cual facilita el equilibrio ligamentoso, es reproducible y podría acompañarse de resultados funcionales superiores a la resección a medida<sup>63, 64, 65</sup>.

Uno de los inconvenientes que suele atribuirse a la prótesis de rodilla navegada es el incremento en el tiempo quirúrgico<sup>66</sup>. Este aspecto se ha analizado en diversos trabajos, como el propuesto por Synder et al.<sup>67</sup>, donde se concluye que, tras la curva de aprendizaje, el tiempo quirúrgico del procedimiento asistido por navegación podría ser similar a la cirugía convencional, con una posible mejora en los resultados clínicos y radiológicos.

Entre las complicaciones observadas en la artroplastia de rodilla asistida por navegación se encuentra el *notching* femoral anterior, que podría ser más frecuente en los pacientes tratados con cirugía navegada, con una incidencia de hasta el 5% frente al 0.6% apreciado en los sometidos a una instrumentación convencional<sup>68</sup>. Asimismo, se han descrito complicaciones asociadas a la implantación de los pines, como son la fractura o la infección<sup>69, 70</sup>. A este respecto, Brown et al.<sup>71</sup> informan de 2 casos de fractura localizadas en el sitio de inserción de los pines en una muestra de 3100 pacientes tratados con navegación, lo que se corresponde con una incidencia del 0.065%. Khakha et al.<sup>72</sup> estudiaron hasta 1596 pacientes sometidos

a una prótesis de rodilla navegada, apreciando que existe una incidencia muy baja de complicaciones relacionadas con el uso de navegador y que, cuando se producen, suelen resolverse con tratamiento no quirúrgico.

La artroplastia de rodilla asistida por ordenador se ha comparado con el uso de la instrumentación paciente específica (PSI) y con la navegación asistida mediante robótica. Así pues, el uso de PSI, frente a las otras dos alternativas, podría ser inferior, no reportando mayor exactitud ni precisión en la alineación, ni mejores resultados funcionales que la cirugía convencional<sup>73</sup>. La navegación robótica, que se corresponde con una rama de la navegación asistida por ordenador, sí que podría ofrecer una mayor exactitud en el posicionamiento de los componentes, mejorando la alineación del componente femoral y tibial en el plano coronal, la rotación del componente femoral y el equilibrio alcanzado en las partes blandas<sup>74, 75</sup>.

Feczko et al.<sup>76</sup> analizaron las posibles ventajas de realizar la prótesis de rodilla navegada mediante un abordaje mínimamente invasivo, frente a un abordaje convencional, llegando a la conclusión de que no ofrece mejores resultados funcionales y, además, se ha relacionado con un mayor tiempo quirúrgico y una mayor pérdida de sangre.

## **La artroplastia unicompartmental de rodilla asistida por navegación**

Una mención especial merece el uso de la navegación en la artroplastia unicompartmental de rodilla, pues son múltiples los autores que han puesto de manifiesto los posibles beneficios de su uso. Existen autores, como Gicquel et al.<sup>77</sup>, que advierten que estas ventajas podrían observarse incluso cuando únicamente se navega el corte tibial.

La navegación en la artroplastia unicompartmental de rodilla permite reproducir la alineación previa con una mayor exactitud que la instrumentación convencional<sup>78, 79</sup>. En el trabajo presentado por Song et al.<sup>80</sup>, con un seguimiento medio de 9 años, se concluye que la utilización de cirugía navegada en la artroplastia unicompartmental contribuye a conseguir el eje mecánico deseado y favorece el correcto posicionamiento de los componentes protésicos.

En el metaanálisis publicado por Van der List et al.<sup>81</sup> se analizaron los resultados funcionales alcanzados tras una artroplastia unicompartmental asistida por navegación, apreciándose que éstos podrían ser superiores a los esperados con una instrumentación convencional.

Un aspecto controvertido es si el uso de la navegación incrementa la supervivencia de la artroplastia unicompartmental y disminuye la tasa de conversión a prótesis total de rodilla. A este respecto, algunos autores refieren que no existen diferencias significativas<sup>82</sup>, sin embargo, la mayoría considera que la navegación sí que podría mejorar la supervivencia y reducir la tasa de conversión. Así pues, aunque tradicionalmente la artroplastia unicompartmental de rodilla se ha relacionado con una elevada tasa de revisiones, la navegación permite alcanzar la alineación de forma más precisa, lo que podría influir positivamente en esta tendencia. El estudio presentado por Chowdhry et al.<sup>83</sup>, con 265 artroplastias unicompartmentales navegadas y un seguimiento de hasta 5 años, ofrece tasas de supervivencia comparables a la artroplastia total de rodilla. Asimismo, Saragaglia et al.<sup>84</sup> sugieren que la navegación proporciona una herramienta que debe ser considerada en la artroplastia unicompartmental de rodilla, pues mejora la alineación y evita una sobrecorrección, lo que resulta esencial para disminuir la tasa de revisión.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés relacionado directa o indirectamente con el contenido del artículo.

## Bibliografía

1) Gunaratne R, Pratt DN, Banda J, Fick DP, Khan RJK, Robertson BW. Patient Dissatisfaction Following Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review of the Literature. *J Arthroplasty*. 2017 Dec;32(12):3854-3860. doi: 10.1016/j.arth.2017.07.021. Epub 2017 Jul 21. Review. PubMed PMID: 28844632. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28844632/>

2) Zhu SB, Chen X, Qian WW, Weng XS, Jiang C, Ye CH, Deng WL. [Coronal lower limb alignment in total knee arthroplasty]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*. 2018 Sep 1;56(9):665-669. doi: 10.3760/cma.j.isn.0529-5815.2018.09.006. Chinese. PubMed PMID: 30157572. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30157572/>

3) Maderbacher G, Keshmiri A, Springorum HR, Maderbacher H, Grifka J, Baier C. Reproducibility of navigation based kinematic analysis of the knee - A cadaveric investigation. *J Orthop Sci*. 2019 Jan;24(1):128-135. doi: 10.1016/j.jos.2018.08.027. Epub 2018 Oct 13. PubMed PMID: 30322622. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30322622/>

4) McClelland JA, Webster KE, Ramteke AA, Feller JA. Total knee arthroplasty with computer-assisted navigation more closely replicates normal knee biomechanics than conventional surgery. *Knee*. 2017 Jun;24(3):651-656. doi: 10.1016/j.knee.2016.12.009. Epub 2017 Feb 21. PubMed PMID: 28233605. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28233605/>

5) Sasaki H, Ishida K, Shibamura N, Takayama K, Hayashi S, Hashimoto S, Niikura T, Kurosaka M, Kuroda R, Matsumoto T. Comparison of Coronal Prosthetic Alignment After Total Knee Arthroplasty Using 3 Computer-Assisted Navigation Systems. *Orthopedics*. 2018 Sep 1;41(5):e621-e628. doi: 10.3928/01477447-20180711-02. Epub 2018 Jul 16. PubMed PMID: 30011056. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30011056/>

6) Feichtinger X, Kolbitsch P, Kocijan R, Baierl A, Giurea A. How Accurate is Intraoperative Alignment Measurement with a Navigation System in Primary Total Knee Arthroplasty? *J Knee Surg*. 2018 May;31(5):467-471. doi: 10.1055/s-0037-1604149. Epub 2017 Jul 12. PubMed PMID: 28701006. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28701006/>

7) Hernández-Vaquero D, Noriega-Fernandez A, Suarez-Vazquez A, Roncero-Gonzalez S, Sierra-Pereira AA, Gil-Martinez L, Fernandez-Carreira JM. Frontal alignment in total knee arthroplasty. Comparative study between radiographic measurement and surgical navigation. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2017 Sep - Oct;61(5):313-318. doi: 10.1016/j.recot.2017.03.007. Epub 2017 Jul 4. English, Spanish. PubMed PMID: 28684111. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28684111/>

8) Batash R, Rubin G, Lerner A, Shehade H, Rozen N, Rothen DE. Computed navigated total knee arthroplasty compared to computed tomography scans. *Knee*. 2017 Jun;24(3):622-626. doi: 10.1016/j.knee.2017.03.006. Epub 2017 Apr 8. PubMed PMID: 28400204. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28400204/>

9) Wada K, Mikami H, Hamada D, Yonezu H, Oba K, Sairyo K. Measurement of rotational and coronal alignment in total knee arthroplasty using a navigation system is reproducible. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2016 Feb;136(2):271-6. doi: 10.1007/s00402-015-2402-8. Epub 2016 Jan 6. PubMed PMID: 26739138. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26739138/>

10) Boylan M, Suchman K, Vigdorichik J, Slover J, Bosco J. Technology-Assisted Hip and Knee Arthroplasties: An Analysis of Utilization Trends. *J Arthroplasty*. 2018 Apr;33(4):1019-1023. doi: 10.1016/j.arth.2017.11.033. Epub 2017 Nov 29. PubMed PMID: 29290333. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29290333/>

- 11) Wilson S, Marx RG, Pan TJ, Lyman S. Meaningful Thresholds for the Volume-Outcome Relationship in Total Knee Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2016 Oct 19;98(20):1683-1690. PubMed PMID: 27869618. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27869618/>
- 12) Badawy M, Espehaug B, Indrekvam K, Engesaeter LB, Havelin LI, Furnes O. Influence of hospital volume on revision rate after total knee arthroplasty with cement. *J Bone Joint Surg Am.* 2013 Sep 18;95(18):e131. doi: 10.2106/JBJS.L.00943. PubMed PMID: 24048562. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24048562/>
- 13) Lacko M, Schreierová D, Čellár R, Vaško G. [Long-Term Results of Computer-Navigated Total Knee Arthroplasties Performed by Low-Volume and Less Experienced Surgeon]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2018;85(3):219-225. Slovak. PubMed PMID: 30257783. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30257783/>
- 14) Oussedik S, Abdel MP, Victor J, Pagnano MW, Haddad FS. Alignment in total knee arthroplasty. *Bone Joint J.* 2020 Mar;102-B(3):276-279. doi: 10.1302/0301-620X.102B3.BJJ-2019-1729. Review. PubMed PMID: 32114811. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32114811/>
- 15) Hsu RW, Hsu WH, Shen WJ, Hsu WB, Chang SH. Comparison of computer-assisted navigation and conventional instrumentation for bilateral total knee arthroplasty: The outcomes at mid-term follow-up. *Medicine (Baltimore).* 2019 Nov;98(47):e18083. doi: 10.1097/MD.00000000000018083. PubMed PMID: 31764842; PubMed Central PMCID: PMC6882567. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31764842/>
- 16) Beal MD, Delagramaticas D, Fitz D. Improving outcomes in total knee arthroplasty-do navigation or customized implants have a role? *J Orthop Surg Res.* 2016 May 23;11(1):60. doi: 10.1186/s13018-016-0396-8. Review. Erratum in: *J Orthop Surg Res.* 2016 Oct 14;11(1):114. PubMed PMID: 27216272; PubMed Central PMCID: PMC4877731. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27216272/>
- 17) Liow MH, Goh GS, Pang HN, Tay DK, Lo NN, Yeo SJ. Computer-assisted stereotaxic navigation improves the accuracy of mechanical alignment and component positioning in total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016 Aug;136(8):1173-80. doi: 10.1007/s00402-016-2483-z. Epub 2016 Jun 27. PubMed PMID: 27349233. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27349233/>
- 18) Han SB, Lee DH. Correlations between Navigation and Radiographic Measures of Alignment. *J Knee Surg.* 2016 Nov;29(8):658-663. Epub 2016 Feb 2. PubMed PMID: 26838968. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26838968/>
- 19) Miyasaka T, Kurosaka D, Saito M, Omori T, Ikeda R, Marumo K. Accuracy of Computed Tomography-Based Navigation-Assisted Total Knee Arthroplasty: Outlier Analysis. *J Arthroplasty.* 2017 Jan;32(1):47-52. doi: 10.1016/j.arth.2016.05.069. Epub 2016 Jun 7. PubMed PMID: 27369304. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27369304/>
- 20) Benavente P, López Orosa C, Oteo Maldonado JA, Orois Codesal A, García Lázaro FJ. Computer assisted surgery. Its usefulness in different levels of pre-operative deformities. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol.* 2015 Jul-Aug;59(4):245-53. doi: 10.1016/j.recot.2014.10.002. Epub 2014 Dec 4. English, Spanish. PubMed PMID: 25481700. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25481700/>
- 21) Lee SS, Kwon KB, Lee YI, Moon YW. Navigation-Assisted Total Knee Arthroplasty for a Valgus Knee Improves Limb and Femoral Component Alignment. *Orthopedics.* 2019 Mar 1;42(2):e253-e259. doi: 10.3928/01477447-20190211-02. Epub 2019 Feb 14. PubMed PMID: 30763446. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30763446/>
- 22) Kornilov N, Kulyaba T, Petukhov A, Ignatenko V, Thienpont E. Computer navigation helps achieving appropriate gap balancing and restoration of alignment in total knee arthroplasty for fixed valgus knee osteoarthritis irrespective of the surgical approach. *Acta Orthop Belg.* 2015 Dec;81(4):673-81. PubMed PMID: 26790790. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26790790/>
- 23) Bin Abd Razak HR, Yeo Jin S, Chong Chi H. Computer navigation results in less severe flexion contracture following total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2014 Dec;29(12):2369-72. doi: 10.1016/j.arth.2013.12.006. Epub 2013 Dec 13. PubMed PMID: 24418768. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24418768/>
- 24) Kim SH, Lim JW, Jung HJ, Lee HJ. Influence of soft tissue balancing and distal femoral resection on flexion contracture in navigated total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 Nov;25(11):3501-3507. doi: 10.1007/s00167-016-4269-9. Epub 2016 Aug 18. PubMed PMID: 27539400. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27539400/>
- 25) Matassi F, Cozzi Lepri A, Innocenti M, Zanna L, Civinini R, Innocenti M. Total Knee Arthroplasty in Patients With Extra-Articular Deformity: Restoration of Mechanical Alignment Using Accelerometer-Based Navigation System. *J Arthroplasty.* 2019 Apr;34(4):676-681. doi: 10.1016/j.arth.2018.12.042. Epub 2019 Jan 5. PubMed PMID: 30685259. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30685259/>
- 26) Bae DK, Song SJ, Park CH, Ko YW, Lee H. A Comparison of the Medium-Term Results of Total Knee Arthroplasty Using Computer-Assisted and Conventional Techniques to Treat Patients With Extraarticular Femoral Deformities. *J Arthroplasty.* 2017 Jan;32(1):71-78. doi: 10.1016/j.arth.2016.06.030. Epub 2016 Jun 29. PubMed PMID: 27460297. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27460297/>
- 27) Koudela K Jr, Koudela K Sr, Koudelová J. [Total knee arthroplasty in severe valgus deformity in a patient with achondroplasia]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2011;78(6):578-82. Czech. PubMed PMID: 22217413. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22217413/>

- 28) Saragaglia D, Massfelder J, Refaie R, Rubens-Duval B, Mader R, Rouchy RC, Pailhé R. Computer-assisted total knee replacement after medial opening wedge high tibial osteotomy: medium-term results in a series of ninety cases. *Int Orthop*. 2016 Jan;40(1):35-40. doi: 10.1007/s00264-015-2791-x. Epub 2015 May 7. PubMed PMID: 25947901. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25947901/>
- 29) Di Benedetto P, Di Benedetto ED, Buttironi MM, Beltrame A, Gissoni R, Cainero V, Causero A. Computer assisted total knee arthroplasty: a real navigation to better results? *Acta Biomed*. 2017 Jun 7;88(2S):48-53. doi: 10.23750/abm.v88i2-S.6513. PubMed PMID: 28657564; PubMed Central PMCID: PMC6179005. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28657564/>
- 30) Loh B, Chen JY, Yew AKS, Pang HN, Tay DKJ, Chia SL, Lo NN, Yeo SJ. The accuracy of a hand-held navigation system in total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2017 Mar;137(3):381-386. doi: 10.1007/s00402-016-2612 Epub 2017 Jan 24. PubMed PMID: 28120025. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28120025/>
- 31) Flierl MA, Sobh AH, Culp BM, Baker EA, Sporer SM. Evaluation of the Painful Total Knee Arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg*. 2019 Oct 15;27(20):743-751. doi: 10.5435/JAAOS-D-18-00083. Review. PubMed PMID: 31008874. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31008874/>
- 32) Mitsuhashi S, Akamatsu Y, Kobayashi H, Kusunagi Y, Kumagai K, Saito T. Combined CT-based and image-free navigation systems in TKA reduces postoperative outliers of rotational alignment of the tibial component. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018 Feb;138(2):259-266. doi: 10.1007/s00402-017-2837-1. Epub 2017 Nov 25. PubMed PMID: 29177541. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29177541/>
- 33) Hernández-Vaquero D, Noriega-Fernandez A, Perez-Coto I, Sandoval García MA, Sierra-Pereira AA, Roncero-Gonzalez S, Fernandez-Carreira JM. Computed tomography is not necessary to assess rotation of the femoral component in navigation-assisted total knee replacement. *J Int Med Res*. 2016 Dec;44(6):1314-1322. doi: 10.1177/0300060516665258. Epub 2016 Nov 12. PubMed PMID: 27837186; PubMed Central PMCID: PMC5536747. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27837186/>
- 34) Hernandez-Vaquero D, Noriega-Fernandez A, Fernandez-Carreira JM, Fernandez-Simon JM, Llorens de los Rios J. Computer-assisted surgery improves rotational positioning of the femoral component but not the tibial component in total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014 Dec;22(12):3127-34. doi: 10.1007/s00167-014-3233-9. Epub 2014 Aug 26. PubMed PMID: 25155048. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25155048/>
- 35) Jones CW, Jerabek SA. Current Role of Computer Navigation in Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2018 Jul;33(7):1989-1993. doi: 10.1016/j.arth.2018.01.027. Epub 2018 Jan 31. Review. PubMed PMID: 29506932. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29506932/>
- 36) Denti M, Soldati F, Bartolucci F, Morengi E, De Girolamo L, Randelli P. Conventional versus Smart Wireless Navigation in Total Knee Replacement: Similar Outcomes in a Randomized Prospective Study. *Joints*. 2018 Jun 20;6(2):90-94. doi: 10.1055/s-0038-1660813. eCollection 2018 Jun. PubMed PMID: 30051104; PubMed Central PMCID: PMC6059866. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30051104/>
- 37) Shin YS, Kim HJ, Ko YR, Yoon JR. Minimally invasive navigation-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016 Nov;24(11):3425-3432. Epub 2016 Feb 9. PubMed PMID: 26860101. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26860101/>
- 38) Sardana V, Burzynski JM, Khan M, Stone N, Weening BS, Zalzal PK. Long-term functional outcomes and knee alignment of computer-assisted navigated total knee arthroplasty. *Musculoskelet Surg*. 2017 Apr;101(1):37-43. doi: 10.1007/s12306-016-0442-z. Epub 2016 Dec 3. PubMed PMID: 27915405. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27915405/>
- 39) Hsu RW, Hsu WH, Shen WJ, Hsu WB, Chang SH. Comparison of computer-assisted navigation and conventional instrumentation for bilateral total knee arthroplasty: The outcomes at mid-term follow-up. *Medicine (Baltimore)*. 2019 Nov;98(47):e18083. doi: 10.1097/MD.00000000000018083. PubMed PMID: 31764842; PubMed Central PMCID: PMC6882567. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31764842/>
- 40) Todesca A, Garro L, Penna M, Bejui-Hugues J. Conventional versus computer-navigated TKA: a prospective randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017 Jun;25(6):1778-1783. doi: 10.1007/s00167-016-4196-9. Epub 2016 Jun 15. PubMed PMID: 27306985. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27306985/>
- 41) Chin BZ, Seck VMH, Syn NL, Wee IJY, Tan SSH, O'Neill GK. Computer-Navigated versus Conventional Total Knee Arthroplasty: A Meta-Analysis of Functional Outcomes from Level I and II Randomized Controlled Trials. *J Knee Surg*. 2019 Nov 4. doi: 10.1055/s-0039-1700494. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 31683347. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31683347/>
- 42) Li X, Yu J, Gong Y, Ren K, Liu J. [Clinical and radiographic outcomes of navigation-assisted versus conventional total knee arthroplasty]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2015 Apr 21;95(15):1162-7. Chinese. PubMed PMID: 26081361. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26081361/>
- 43) Panjwani TR, Mullaji A, Doshi K, Thakur H. Comparison of Functional Outcomes of Computer-Assisted vs Conventional Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis of High-Quality, Prospective Studies. *J Arthroplasty*. 2019 Mar;34(3):586-593. doi: 10.1016/j.arth.2018.11.028. Epub 2018 Dec 2. PubMed PMID: 30611520. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30611520/>
- 44) Petursson G, Fenstad AM, Gøthesen Ø, Dyrhovden GS, Hallan G, Röhrl SM, Aamodt A, Furnes O.



Computer-Assisted Compared with Conventional Total Knee Replacement: A Multicenter Parallel-Group Randomized Controlled Trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2018 Aug 1;100(15):1265-1274. doi: 10.2106/JBJS.17.01338. PubMed PMID: 30063588. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30063588/>

45) Roberts TD, Clatworthy MG, Frampton CM, Young SW. Does Computer Assisted Navigation Improve Functional Outcomes and Implant Survivability after Total Knee Arthroplasty? *J Arthroplasty.* 2015 Sep;30(9 Suppl):59-63. doi: 10.1016/j.arth.2014.12.036. Epub 2015 Jun 3. PubMed PMID: 26138516. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26138516/>

46) Rhee SJ, Kim HJ, Lee CR, Kim CW, Gwak HC, Kim JH. A Comparison of Long-Term Outcomes of Computer-Navigated and Conventional Total Knee Arthroplasty: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Bone Joint Surg Am.* 2019 Oct 16;101(20):1875-1885. doi: 10.2106/JBJS.19.00257. PubMed PMID: 31626013. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31626013/>

47) Cip J, Obwegeser F, Benesch T, Bach C, Ruckentstahl P, Martin A. Twelve-Year Follow-Up of Navigated Computer-Assisted Versus Conventional Total Knee Arthroplasty: A Prospective Randomized Comparative Trial. *J Arthroplasty.* 2018 May;33(5):1404-1411. doi: 10.1016/j.arth.2017.12.012. Epub 2017 Dec 21. PubMed PMID: 29426792. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29426792/>

48) Kim YH, Park JW, Kim JS. 2017 Chitranjan S. Ranawat Award: Does Computer Navigation in Knee Arthroplasty Improve Functional Outcomes in Young Patients? A Randomized Study. *Clin Orthop Relat Res.* 2018 Jan;476(1):6-15. doi: 10.1007/s11999.0000000000000000. PubMed PMID: 29389753; PubMed Central PMCID: PMC5919243. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29389753/>

49) Song EK, Agrawal PR, Kim SK, Seo HY, Seon JK. A randomized controlled clinical and radiological trial about outcomes of navigation-assisted TKA compared to conventional TKA: long-term follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016 Nov;24(11):3381-3386. Epub 2016 Feb 1. PubMed PMID: 26831857. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26831857/>

50) Baier C, Wolfsteiner J, Otto F, Zeman F, Renkawitz T, Springorum HR, Maderbacher G, Grifka J. Clinical, radiological and survivorship results after ten years comparing navigated and conventional total knee arthroplasty: a matched-pair analysis. *Int Orthop.* 2017 Oct;41(10):2037-2044. doi: 10.1007/s00264-017-3509-z. Epub 2017 May 26. PubMed PMID: 28550426. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28550426/>

51) Dyrhovden GS, Fenstad AM, Furnes O, Gøthesen Ø. Survivorship and relative risk of revision in computer-navigated versus conventional total knee replacement at 8-year follow-up. *Acta Orthop.* 2016 Dec;87(6):592-599. Epub 2016 Oct 24. PubMed PMID: 27775460; PubMed Central PMCID: PMC5119442. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27775460/>

52) 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 Apr 15;97(8):635-42. doi: 10.2106/JBJS.M.01496. PubMed PMID: 25878307. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25878307/>

53) Baumbach JA, Willburger R, Haaker R, Dittrich M, Kohler S. 10-Year Survival of Navigated Versus Conventional TKAs: A Retrospective Study. *Orthopedics.* 2016 May;39(3Suppl):S72-6. doi: 10.3928/01477447-20160509-21. PubMed PMID: 27219734. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27219734/>

54) Singla A, Malhotra R, Kumar V, Lekha C, Karthikeyan G, Malik V. A Randomized Controlled Study to Compare the Total and Hidden Blood Loss in Computer-Assisted Surgery and Conventional Surgical Technique of Total Knee Replacement. *Clin Orthop Surg.* 2015 Jun;7(2):211-6. doi: 10.4055/cios.2015.7.2.211. Epub 2015 May 18. PubMed PMID: 26217468; PubMed Central PMCID: PMC4515462. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26217468/>

55) Han SB, Kim HJ, Kim TK, In Y, Oh KJ, Koh IJ, Lee DH. Computer navigation is effective in reducing blood loss but has no effect on transfusion requirement following primary total knee arthroplasty: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016 Nov;24(11):3474-3481. Epub 2016 Feb 27. PubMed PMID:26922056. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26922056/>

56) Yu QB, E ZK, Xin HW, Zhang YS, Lin YZ. [Effect of total knee arthroplasty under computer navigation on intraoperative blood loss and joint function recovery]. *Zhongguo Gu Shang.* 2020 Jan 25;33(1):15-20. doi: 10.3969/j.issn.1003-0034.2020.01.004. Chinese. PubMed PMID: 32115919. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32115919/>

57) Liodakis E, Antoniou J, Zukor DJ, Huk OL, Epure LM, Bergeron SG. Navigated vs Conventional Total Knee Arthroplasty: Is There a Difference in the Rate of Respiratory Complications and Transfusions? *J Arthroplasty.* 2016 Oct;31(10):2273-7. doi: 10.1016/j.arth.2016.03.051. Epub 2016 Apr 4. PubMed PMID:27133926. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27133926/>

58) Wang K, Wang JY, Wang JZ, Zeng LY, Li PC, Wei XC. [Application of passive image-free navigation system for total knee arthroplasty]. *Zhongguo Gu Shang.* 2019 Apr 25;32(4):383-386. doi: 10.3969/j.issn.1003-0034.2019.04.018. Review. Chinese. PubMed PMID: 31027419. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31027419/>

59) Kuo SJ, Hsu HC, Wang CJ, Siu KK, Hsu YH, Ko JY, Tang CH. Effects of computer-assisted navigation versus conventional total knee arthroplasty on the levels of inflammation markers: A prospective study. *PLoS One.* 2018 May 14;13(5):e0197097. doi: 10.1371/journal.pone.0197097. eCollection 2018. PubMed PMID: 29758073; PubMed Central PMCID: PMC5951551. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29758073/>

- 60) Kuo SJ, Wang FS, Wang CJ, Ko JY, Chen SH, Siu KK. Effects of Computer Navigation versus Conventional Total Knee Arthroplasty on Endothelial Damage Marker Levels: A Prospective Comparative Study. *PLoS One*. 2015 May 8;10(5):e0126663. doi: 10.1371/journal.pone.0126663. eCollection 2015. PubMed PMID: 25955252; PubMed Central PMCID: PMC4425488. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25955252/>
- 61) Siu KK, Wu KT, Ko JY, Wang FS, Chou WY, Wang CJ, Kuo SJ. Effects of computer-assisted navigation versus the conventional technique for total knee arthroplasty on levels of plasma thrombotic markers: a prospective study. *Biomed Eng Online*. 2019 Oct 14;18(1):99. doi: 10.1186/s12938-019-0717-3. PubMed PMID: 31610791; PubMed Central PMCID: PMC6791006. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31610791/>
- 62) Hutt JR, LeBlanc MA, Massé V, Lavigne M, Vendittoli PA. Kinematic TKA using navigation: Surgical technique and initial results. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2016 Feb;102(1):99-104. doi: 10.1016/j.otsr.2015.11.010. Epub 2016 Jan 6. PubMed PMID: 26776100. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26776100/>
- 63) Lee SS, Lee YI, Kim DU, Lee DH, Moon YW. Factors affecting femoral rotational angle based on the posterior condylar axis in gap-based navigation-assisted total knee arthroplasty for valgus knee. *PLoS One*. 2018 May 15;13(5):e0197335. doi: 10.1371/journal.pone.0197335. eCollection 2018. PubMed PMID: 29763429; PubMed Central PMCID: PMC5953479. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29763429/>
- 64) Siddiqi A, Hardaker WM, Eachempati KK, Sheth NP. Advances in Computer-Aided Technology for Total Knee Arthroplasty. *Orthopedics*. 2017 Nov 1;40(6):338-352. doi: 10.3928/01477447-20170831-02. Epub 2017 Sep 7. PubMed PMID: 28877327. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28877327/>
- 65) Clement ND, Makaram N, Bell J, Tiemessen CH, Mehdi SA, Livingston SJ. Columbus® computer navigated total knee arthroplasty: Gap balancing versus measured resection. *Knee*. 2017 Dec;24(6):1442-1447. doi: 10.1016/j.knee.2017.08.004. Epub 2017 Sep 29. PubMed PMID: 28970126. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28970126/>
- 66) Li Y, Tian H, Geng X. [Effect of the surgical time and coronalmechanical alignment after total knee arthroplasty using computer navigation system, traditional or 3D printing patient-specific instruments]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2018 Jul 17;98(27):2157-2161. doi: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.27.006. Chinese. PubMed PMID: 30032517. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30032517/>
- 67) Synder M, Altimimi MA, Borowski A, Sibiński M, Drobniński M. Evaluation of Outcomes of Total Knee Replacement with and without a Navigation System. *Ortop Traumatol Rehabil*. 2016 May 5;18(3):251-261. doi: 10.5604/15093492.1212869. PubMed PMID: 28157081. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28157081/>
- 68) Kim YH, Park JW, Kim JS. The Clinical Outcome of Computer-Navigated Compared with Conventional Knee Arthroplasty in the Same Patients: A Prospective, Randomized, Double-Blind, Long-Term Study. *J Bone Joint Surg Am*. 2017 Jun 21;99(12):989-996. doi: 10.2106/JBJS.16.00791. PubMed PMID: 28632587. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28632587/>
- 69) Kamara E, Berliner ZP, Hepinstall MS, Cooper HJ. Pin Site Complications Associated With Computer-Assisted Navigation in Hip and Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2017 Sep;32(9):2842-2846. doi: 10.1016/j.arth.2017.03.073. Epub 2017 Apr 20. PubMed PMID: 28522245. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28522245/>
- 70) Kim YH, Park JW, Kim JS. 2017 Chitranjan S. Ranawat Award: Does Computer Navigation in Knee Arthroplasty Improve Functional Outcomes in Young Patients? A Randomized Study. *Clin Orthop Relat Res*. 2018 Jan;476(1):6-15. doi: 10.1007/s11999.0000000000000000. PubMed PMID: 29389753; PubMed Central PMCID: PMC5919243. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29389753/>
- 71) Brown MJ, Matthews JR, Bayers-Thering MT, Phillips MJ, Krackow KA. Low Incidence of Postoperative Complications With Navigated Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2017 Jul;32(7):2120-2126. doi: 10.1016/j.arth.2017.01.045. Epub 2017 Feb 3. PubMed PMID: 28285900. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28285900/>
- 72) Khakha RS, Chowdhry M, Norris M, Kheiran A, Chauhan SK. Low incidence of complications in computer assisted total knee arthroplasty--A retrospective review of 1596 cases. *Knee*. 2015 Oct;22(5):416-8. doi: 10.1016/j.knee.2015.02.009. Epub 2015 Mar 24. PubMed PMID: 25819156. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25819156/>
- 73) Siddiqi A, Hardaker WM, Eachempati KK, Sheth NP. Advances in Computer-Aided Technology for Total Knee Arthroplasty. *Orthopedics*. 2017 Nov 1;40(6):338-352. doi: 10.3928/01477447-20170831-02. Epub 2017 Sep 7. PubMed PMID: 28877327. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28877327/>
- 74) Figueroa F, Wakelin E, Twigg J, Fritsch B. Comparison between navigated reported position and postoperative computed tomography to evaluate accuracy in a robotic navigation system in total knee arthroplasty. *Knee*. 2019 Aug;26(4):869-875. doi: 10.1016/j.knee.2019.05.004. Epub 2019 Jun 4. PubMed PMID: 31171424. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31171424/>
- 75) Van der List JP, Chawla H, Joskowicz L, Pearle AD. Current state of computer navigation and robotics in unicompartmental and total knee arthroplasty: a systematic review with meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016 Nov;24(11):3482-3495. Epub 2016 Sep 6. Review. PubMed PMID: 27600634. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27600634/>
- 76) Feczko P, Engelmann L, Arts JJ, Campbell D. Computer-assisted total knee arthroplasty using mini midvastus or medial parapatellar approach technique: A prospective, randomized, international multicentre tri-

- al. BMC Musculoskelet Disord. 2016 Jan 13;17:19. doi: 10.1186/s12891-016-0872-7. PubMed PMID: 26762175; PubMed Central PMCID: PMC4711101. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26762175/>
- 77) Gicquel T, Lambotte JC, Polard JL, Ropars M, Hutten D. Is tibial cut navigation alone sufficient in medial unicompartmental knee arthroplasty? Continuous series of fifty nine procedures. Int Orthop. 2016Dec;40(12):2511-2518. Epub 2016 Jun 30. PubMed PMID: 27357531. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27357531/>
- 78) Grant AL, Doma KD, Hazratwala K. Determination of the Accuracy of Navigated Kinematic Unicompartmental Knee Arthroplasty: A 2-Year Follow-Up. J Arthroplasty. 2017 May;32(5):1443-1452. doi: 10.1016/j.arth.2016.11.036. Epub 2016 Nov 29. PubMed PMID: 28039023. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28039023/>
- 79) Zhang Z, Zhu W, Zhu L, Du Y. Superior alignment but no difference in clinical outcome after minimally invasive computer-assisted unicompartmental knee arthroplasty (MICA-UKA). Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2016 Nov;24(11):3419-3424. Epub 2014 Nov 26. PubMed PMID: 25423875. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25423875/>
- 80) Song EK, N M, Lee SH, Na BR, Seon JK. Comparison of Outcome and Survival After Unicompartmental Knee Arthroplasty Between Navigation and Conventional Techniques With an Average 9-Year Follow-Up. J Arthroplasty. 2016 Feb;31(2):395-400. doi: 10.1016/j.arth.2015.09.012. Epub 2015 Sep 18. PubMed PMID: 26454570. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26454570/>
- 81) Van der List JP, Chawla H, Joskowicz L, Pearle AD. Current state of computer navigation and robotics in unicompartmental and total knee arthroplasty: a systematic review with meta-analysis. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2016 Nov;24(11):3482-3495. Epub 2016 Sep 6. Review. PubMed PMID: 27600634. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27600634/>
- 82) Chona D, Bala A, Huddleston JI 3rd, Goodman SB, Maloney WJ, Amanatullah DF. Effect of Computer Navigation on Complication Rates Following Unicompartmental Knee Arthroplasty. J Arthroplasty. 2018 Nov;33(11):3437-3440.e1. doi: 10.1016/j.arth.2018.06.030. Epub 2018 Jun 30. PubMed PMID: 30033063. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30033063/>
- 83) Chowdhry M, Khakha RS, Norris M, Kheiran A, Chauhan SK. Improved Survival of Computer-Assisted Unicompartmental Knee Arthroplasty: 252 Cases With a Minimum Follow-Up of 5 Years. J Arthroplasty. 2017 Apr;32(4):1132-1136. doi: 10.1016/j.arth.2016.11.027. Epub 2016 Nov 23. PubMed PMID: 28110847. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28110847/>
- 84) Saragaglia D, Marques Da Silva B, Dijoux P, Cognault J, Gaillot J, Pailhé R. Computerised navigation of unicondylar knee prostheses: from primary implantation to revision to total knee arthroplasty. Int Orthop. 2017 Feb;41(2):293-299. doi: 10.1007/s00264-016-3293-1. Epub 2016 Sep 28. PubMed PMID: 27680750. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27680750/>