

## TEMA DE ACTUALIZACIÓN

# Situación actual de la robótica en cirugía protésica de rodilla, ¿una tecnología que ha venido para quedarse?



M. Balaguer-Castro<sup>a,\*</sup>, P. Torner<sup>a</sup>, M. Jornet-Gibert<sup>a</sup> y J.C. Martínez-Pastor<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hospital Clínic, Barcelona, España

<sup>b</sup> Facultad de Medicina. Universitat de Barcelona, Barcelona, España

Recibido el 1 de julio de 2022; aceptado el 7 de octubre de 2022

Disponible en Internet el 19 de octubre de 2022

### PALABRAS CLAVE

Artroplastia total de rodilla (ATR);  
Artroplastia total de rodilla asistida por robot (ATRar);  
Robótica;  
Actualización

### KEYWORDS

Total knee arthroplasty (TKA);  
Robotic-assisted knee arthroplasty (RA-TKA);  
Robotics;  
Actualization

**Resumen** La cirugía robótica es una técnica quirúrgica que va en aumento. El objetivo de la artroplastia total de rodilla asistida por robot (ATRar) es el de proveer al cirujano de una herramienta para ejecutar de forma precisa los cortes óseos de acuerdo con una planificación quirúrgica previa para restablecer la cinemática de una rodilla primitiva y el balance de partes blandas, pudiendo aplicar de forma precisa el tipo de alineación que escojamos. Además, la ATRar es una herramienta muy útil para la formación.

Dentro de las limitaciones, encontramos la curva de aprendizaje, la necesidad de equipos específicos, los costes elevados de adquisición de los dispositivos, en algunos sistemas el aumento de radiación y que cada robot está ligado a un tipo específico de implante.

Los estudios actuales muestran que con la ATRar disminuyen las variaciones de alineación del eje mecánico, mejora el dolor posoperatorio y se facilita un alta más precoz. Por otro lado, no muestran diferencias a nivel de rango de movimiento, alineación, balance de gaps, complicaciones, tiempo quirúrgico o resultados funcionales.

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

### Current situation of robotics in knee prosthetic surgery, a technology that has come to stay?

**Abstract** Robotic surgery is a surgical technique that is on the rise. The goal of robotic-assisted total knee arthroplasty (RA-TKA) is to provide the surgeon with a tool to accurately execute bone cuts according to previous surgical planning to restore knee kinematics and balance of soft tissue, being able to precisely apply the type of alignment that we choose. In addition, RA-TKA is a very useful tool for training.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [mbalaguer@clinic.cat](mailto:mbalaguer@clinic.cat) (M. Balaguer-Castro).

<https://doi.org/10.1016/j.recot.2022.10.011>

1888-4415/© 2022 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Within the limitations, there is the learning curve, the need for specific equipment, the high cost of the devices, the increase in radiation in some systems and that each robot is linked to a specific type of implant.

Current studies show, with RA-TKA, variations in the alignment of the mechanical axis are reduced, postoperative pain is improved and earlier discharge is facilitated. On the other hand, there are no differences in terms of range of motion, alignment, gap balance, complications, surgical time or functional results.

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

## Introducción

### Historia de la robótica

La Real Academia Española (RAE) define Robot como «máquina o ingenio electrónico programable que es capaz de manipular objetos y realizar diversas operaciones»<sup>1</sup>.

El término «cirugía robótica» se refiere al uso de dispositivos programables que puedan llevar a cabo una amplia variedad de tareas quirúrgicas<sup>2</sup>.

La tecnología robótica se ha utilizado en otras especialidades para mejorar la precisión de la disección quirúrgica y mejorar la recuperación posquirúrgica<sup>3</sup>.

En cirugía ortopédica se han utilizado diferentes sistemas robóticos. El primer robot disponible para llevar a cabo artroplastias totales de rodilla (ATR) y cadera (ATC) fue Robodoc, actualmente TSolution-One® (Curexo Technology, actualmente THINK Surgical Inc., Fremont, CA, EE. UU.) en 1992<sup>4</sup> (fig. 1). Posteriormente, Mako o *The Robotic Arm Interactive Orthopedic System* (MAKO Surgical Corporation), comercializado por Stryker Orthopaedics, fue aprobado para su uso por la *Food and Drug Administration* (FDA) en 2008 (fig. 2). Siguiendo a estos sistemas, en la actualidad disponemos de OMNIBotic® (previamente PRAXIM *Robotic-assisted navigation*) (Corin, Tampa, FL, EE.UU.) aprobado en 2017 por la FDA<sup>5</sup>, Navio PFS (Blue Belt Technologies, Plymouth, MN, EE. UU.), distribuido por Smith&Nephew aprobado en 2018 por la FDA (fig. 3) y su actualización *Real Intelligence CORI* (CORI) *CORI Surgical System* (Blue Belt Technologies, Plymouth, MN, EE. UU.) aprobado en 2020 por la FDA (fig. 4) y el sistema ROSA *knee robotic surgical system* (Medtech Sa, Montpellier, FR) aprobado para su uso por la FDA en 2019 (fig. 5). VELYS™ *Robotic-Assisted Solution* (Depuy Synthes) recibió la aprobación de la FDA en enero de 2021 (fig. 6), y en China se ha aprobado el uso de HURWA *robot-assisted TKA system*<sup>6</sup>.

El objetivo principal de la artroplastia total de rodilla asistida por robot (ATRR) es el de proveer al cirujano de una herramienta para ejecutar de forma precisa los cortes óseos de acuerdo con una planificación quirúrgica previa (preoperatoria y/o intraoperatoria, según el sistema usado) y así restablecer la cinemática de la rodilla y el balance de partes blandas<sup>2</sup>.

Previo a la cirugía asistida por robot se utilizaron diferentes sistemas de navegación. Ambos sistemas, la ATR

navegada y la ATR asistida presentan las siguientes diferencias:

### Diferencias entre ATR navegada y ATRar

La artroplastia asistida mediante navegación se introdujo hace unas tres décadas con las expectativas de mejorar la precisión de la alineación de los componentes protésicos, reducir la incidencia de complicaciones y mejorar la recuperación funcional<sup>7,8</sup>. Esta navegación implica el uso de sistemas informáticos que nos dan información intraoperatoria en tiempo real de la anatomía y de la cinemática de la rodilla durante la cirugía. Este mapa óseo anatómico de la rodilla del paciente se puede obtener preoperatoriamente mediante tomografía computarizada (TC) en el caso de la navegación basada en imágenes, o intraoperatoriamente mediante el mapeo intraoperatorio de puntos de referencia anatómicos óseos en un modelo genérico de la articulación de la rodilla, en la navegación *imageless* o sin imágenes<sup>3</sup>.

La navegación proporciona datos anatómicos específicos del paciente con recomendaciones para la resección ósea y posicionamiento óptimo del implante, pero el sistema informático no controla ni restringe activamente la función ni los movimientos del cirujano<sup>2,3,9</sup>.

A diferencia de la artroplastia total navegada, la ATRar implica la utilización de *software* para convertir la información anatómica de la rodilla del paciente en una reconstrucción virtual tridimensional<sup>7,10,11</sup>. Con esta información el cirujano puede realizar una planificación pre y/o intraoperatoria, calculando la resección ósea y seleccionando el posicionamiento y tamaño óptimos de los implantes<sup>10,11</sup>. Un dispositivo robótico intraoperatorio ayuda a ejecutar este plan preoperatorio específico del paciente con un alto nivel de precisión<sup>2,3,9,12</sup>.

### Tipos de dispositivos robóticos

Dependiendo del grado de control que el dispositivo robótico proporciona, los asistentes robóticos se clasifican en sistemas activos o semiactivos y pueden ser "cerrados", si solo nos permiten trabajar con algún tipo específico de implante o casa comercial, o "abiertos", si nos permiten trabajar con diferentes implantes<sup>13</sup>.



Figura 1 TSolution-One®48.

La ATRar puede ser realizada con imágenes o sin imágenes (*imageless*). En todos los sistemas, 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<sup>14</sup>.

Los sistemas robóticos activos funcionan de forma autónoma para realizar las resecciones óseas femorales y tibiales planificadas. El cirujano supervisa la resección ósea y puede activar un interruptor de desactivación de emergencia si es necesario. Con estos sistemas, el cirujano realiza el



Figura 2 MAKO49.

abordaje quirúrgico, coloca retractores para proteger los tejidos blandos periarticulares y luego asegura la extremidad en un dispositivo fijo. A continuación, el robot ejecuta de forma independiente las resecciones óseas planificadas<sup>2,3,9</sup>.

Los sistemas robóticos semiactivos permiten al cirujano mantener el control general sobre la resección ósea y el posicionamiento del implante, pero brindan información intraoperatoria inmediata para limitar la desviación del plan quirúrgico inicial. Estos sistemas semiactivos pueden ser con o sin imágenes preoperatorias y disponer de sensores visuales, táctiles y de sonido para controlar el posicionamiento, fuerza y cortes óseos<sup>2,3,9,15</sup>.

### Tipos de alineación en la cirugía robótica

Actualmente existen diferentes filosofías con relación al objetivo de alineación de la extremidad tras la implantación de una ATR<sup>16,17</sup>. Independiente de la filosofía o tipo de alineación elegida por el cirujano, el robot nos permite llevar a cabo, de una forma precisa y reproducible, la planificación prequirúrgica realizada dado que nos permite modificar la posición de los implantes hasta en 6 grados de libertad, entre traslaciones y rotaciones, controlando en todo momento el balance ligamentario y de partes blandas.

### Puntos fuertes y limitaciones

#### Puntos fuertes de la ATRar respecto a la ATR convencional (ATRC)

La técnica asistida mediante robótica tiene claras ventajas a nivel de la planificación preoperatoria, así como la valoración de los cambios en la planificación intraoperatoria, permitiéndonos prever con mayor precisión los resultados a nivel de alineación, balance de gaps y ejes<sup>10</sup>. La técnica ATRar, aumenta la precisión de la resección ósea, disminuye la malposición de los implantes y nos permite un control del equilibrio ligamentario de forma intraoperatoria<sup>13</sup>. Además,



Figura 3 Navio PFS<sup>50</sup>.



### Limitaciones

La ATRar no es un método exento de errores. El cirujano debe conocer los valores de configuración predeterminados del equipo que esté utilizando. Las referencias óseas deben ser adquiridas adecuadamente, siendo esta la etapa de mayor fuente de errores técnicos en el mapeo de la rodilla. Otras posibilidades de error se pueden producir en la ejecución de cortes que, según el sistema utilizado, son más o menos asistidos. Por otro lado, sigue existiendo la posibilidad de errores durante la fase de cementado y colocación de los implantes definitivos, al igual que en la técnica convencional<sup>12</sup>.

Existen estudios que refieren que, de manera general, la restitución del eje mecánico es más confiable en los procedimientos de ATRar, basados en las medidas intraoperatorias de los planos de resección, con relación a las ATRc<sup>22</sup>.

Otro factor importante es la curva de aprendizaje, entre siete a 20 casos de ATRar<sup>22</sup>, aunque en dos estudios esta curva de aprendizaje no demostró ningún efecto negativo sobre la precisión de la colocación de los implantes femoral ni tibial ni sobre el eje mecánico planificado<sup>5,23,24</sup>. Pasada esta fase de aprendizaje en la que se aumenta el tiempo quirúrgico<sup>25</sup> pero no se afecta a la precisión de colocación de los implantes, los flujos de trabajo y tiempos quirúrgicos son comparables a las ATR mediante técnica convencional<sup>5,23</sup>.

Dentro de las limitaciones también encontramos el hecho de que la mayoría son sistemas cerrados, la necesidad de equipos específicos, los costes elevados de adquisición e instalación de los dispositivos y, en algunos sistemas (p. ej. MAKO®), el aumento de radiación,  $4,8 \pm 3$  mSv (equivalente a 48 radiografías de tórax)<sup>26,27</sup>, debido a la necesidad de un TC preoperatorio.

la ATRar es una herramienta muy útil para la formación<sup>18,19</sup>, dado que nos permite ver *in situ* y de forma virtual cómo cambian los espacios y la alineación con el posicionamiento del implante que hayamos elegido.

Desde el punto de vista clínico, parece que la robótica se asocia a un mejor control de las partes blandas. En un estudio en cadáver, y en estudios *in vivo* se ha observado menor daño tisular periarticular en la ATRar vs la ATRc<sup>11,20,21</sup>.





Figura 5 Rosa Knee System<sup>52</sup>.

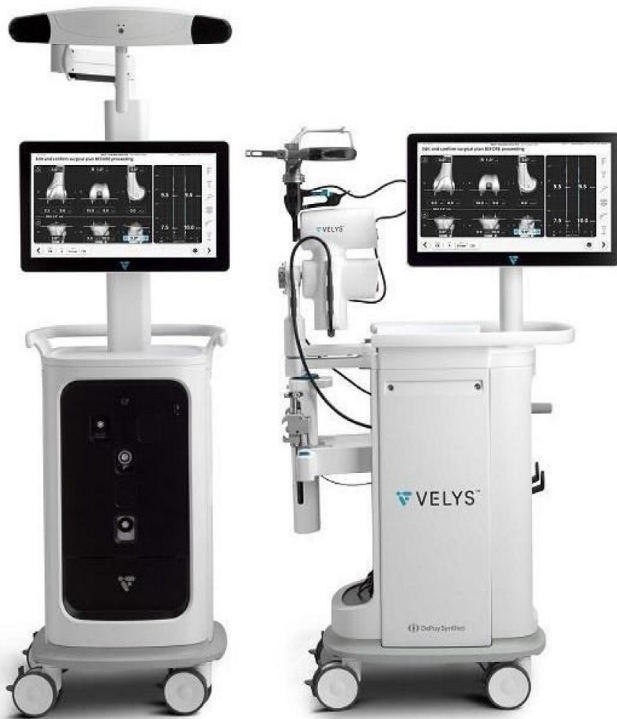


Figura 6 VELYS<sup>TM53</sup>.

La mayoría de los sistemas robóticos requieren la colocación de pines y *trackers* en tibia y fémur que, dependiendo del sistema, implica dos incisiones que quedan fuera de la herida quirúrgica principal y pueden ocasionar problemas a nivel de tejidos blandos u óseos<sup>28-30</sup>.

### Análisis de costes

La cirugía protésica asistida por robot está asociada con costes importantes de instalación y mantenimiento, actualizaciones de software, además de imágenes preoperatorias e incremento del tiempo quirúrgico durante la fase de aprendizaje<sup>5,22</sup>. En un artículo de Kayani et al., calculan estos costes entre 400.000 y 1,5 millones de dólares<sup>5,22</sup>.

Los estudios publicados sobre las ATRar, a corto plazo, sugieren que la inversión de capital inicial podría verse compensada con la disminución del consumo de analgesia, el potencial de mejorar la evaluación de los resultados comunicados por los pacientes (ERCP o *PROMs*), reducir la estancia hospitalaria media, así como reducir la tasa de reingreso y la posibilidad de realizar alguna artroplastia de forma ambulatoria<sup>22</sup>.

A nivel de las ATRar, se ha hecho una estimación de costes por tipo de procedimiento, en el que en las ATRar existe un aumento de costes respecto a las ATRc (basada en imágenes: incrementaría unos \$2.600 por prótesis, no basada en imágenes: \$1.530)<sup>31</sup>. Por otro lado, se ha realizado un análisis

de modelo de Markov en el que se ha estimado que la ATRar podría ser un procedimiento rentable en términos de años de vida ajustados por calidad (AVAC o QALY) si se realizaran un mínimo de 253 casos al año<sup>32</sup>. En otro estudio, estiman que, actualmente, se deberían poder evitar 131 casos de revisión protésica en el grupo ATRar, para poder equiparar los costes en ambos grupos (ATRar vs ATRc) (referencia Tompkins). Otro estudio estimó que las ATRar eran rentables cuando las tasas de revisión anuales estaban por debajo de 1,6% y con una calidad de vida posoperatoria más alta, especialmente cuando el volumen de ATRar estaba por encima de 24 casos/año<sup>33</sup>. Faltan estudios a largo plazo para evaluar si estos costes se mantendrán o se reducirán por la posible reducción del precio de los dispositivos a lo largo del tiempo y/o si se demuestra que realmente las tasas de revisión y los resultados funcionales son mejores en las ATRar respecto a las ATRc<sup>5,34</sup>.

## Resultados clínicos, radiológicos y funcionales: ATRar vs. ATRc

Actualmente hay relativamente pocos estudios a medio o largo plazo que analicen el impacto de la ATRar en los resultados clínicos, de satisfacción y de supervivencia de los implantes<sup>5</sup>.

Con la cirugía protésica asistida por robot se reducen las variaciones de alineación del eje mecánico, es decir una diferencia mayor a  $\pm 3^\circ$  respecto al eje neutro, objetivándose 0% en el grupo de robótica vs. 24% en el grupo convencional<sup>35</sup>.

A nivel radiológico se han encontrado más *outliers* tanto en el eje mecánico, como en el restablecimiento de la interlínea articular, como en la alineación de los componentes en el plano coronal y sagital mediante técnica convencional que en la asistida por robótica<sup>7,36</sup>.

Siebert et al. encontraron que los pacientes tras ATRar presentaron menos inflamación y edema en un estudio retrospectivo<sup>37</sup>. Kayani et al. reportaron que los pacientes con ATRar tenían menos dolor posoperatorio, menor necesidad de rescate analgésico y menor tiempo de rehabilitación comparado con las ATRc<sup>38</sup>. Otro estudio de Kayani et al. demostró que en las ATRar se precisaba menor liberación medial en deformidades en varo corregibles y fijas, que los cortes femoral y tibial eran más precisos y que se producía menor lesión macroscópica de tejidos blandos<sup>20</sup>.

Otro estudio encontró que en las ATRar disminuía en 4,5 veces el riesgo de necesitar una movilización forzada bajo anestesia respecto a las ATRc<sup>39</sup>.

En una revisión sistemática Ren et al. reportaron mejores resultados en ATRar en las escalas *Knee Society Score* (KSS) y *Western Ontario and McMaster Universities Arthritis Index* (WOMAC) a los seis meses de seguimiento<sup>40</sup>.

En un ensayo clínico aleatorizado comparando ATRc vs. ATRar con un seguimiento mínimo a 10 años, Kim et al. no encontraron diferencias a nivel de escalas de valoración, aflojamiento aséptico, supervivencia global ni complicaciones<sup>41</sup>.

En el estudio publicado por Song et al. no encontraron diferencias a nivel de rango de movimiento ni en función evaluada a partir de escalas como WOMAC, KSS o *Hospital for Special Surgery Knee Score* (HSS knee score). Tampoco

encontraron diferencias ni en las complicaciones, ni en el eje mecánico posoperatorio (planificado a  $0^\circ$ ), ni en la inclinación femoral en el plano coronal y sagital, ni en los cortes óseos de fémur y tibia. Lo que sí objetivaron fue que no encontraron *outliers* (definidos como diferencia  $\geq \pm 3^\circ$  respecto a lo planificado) a nivel radiológico en el grupo de ATRar (n = 0) comparado con el grupo de ATRc (n = 12)<sup>42</sup>.

En un metaanálisis publicado en 2020, aparte de las diferencias en la alineación, encontraron diferencias en la escala HSS al final del seguimiento, menor pérdida sanguínea y un aumento del tiempo quirúrgico en las ATRar, sin encontrar diferencias clínicamente relevantes en las escalas de valoración<sup>36</sup>. Otro metaanálisis añade diferencias a favor de la ATRar a nivel de dolor posoperatorio, rehabilitación posoperatoria y alta más precoz<sup>43</sup>. Por último, en el metaanálisis de Agarwal et al. encontraron diferencias en las escalas HSS y WOMAC, pero no a nivel de rango de movimiento ni en la escala KSS<sup>44</sup>.

A pesar de estos resultados, del aumento de precisión y de los buenos resultados radiológicos, la ATRar no ha demostrado resultados superiores a medio o largo plazo en comparación a la ATRc<sup>5,22</sup>.

Aunque la ATRar ha mostrado éxito a corto plazo, la evaluación a largo plazo de la supervivencia del implante, la satisfacción del paciente y las tasas de artroplastia de revisión determinarán el valor de la tecnología robótica en la ATR<sup>5</sup>.

## Discusión

La ATR es un tratamiento bien establecido y muy efectivo en pacientes con artrosis sintomática de rodilla, que mejora la calidad de vida de los pacientes, incrementa su capacidad funcional y reduce el dolor.

Entre 80 y 89% de los pacientes están satisfechos tras una ATR. Estos porcentajes se mantienen constantes, independientemente de las mejoras en los implantes y la protocolización de los procedimientos, dejando entre 11 y 20% de pacientes no satisfechos con el resultado<sup>14,45,46</sup>.

El mayor reto futuro es mejorar los resultados y satisfacción de los pacientes. Para ello, la robótica llega con la promesa de mejorar el control de partes blandas y aumentar el control y precisión del posicionamiento de los implantes.

Actualmente faltan estudios prospectivos, comparativos y a largo plazo para confirmar si estas mejoras tienen un impacto positivo en los resultados a medio y largo plazo.

## Retos futuros

Posibles mejoras futuras incluyen la reducción de los costes de implantación gracias a la opción de disponer de sistemas abiertos, más ergonómicos con el fin de mejorar la eficiencia y los tiempos quirúrgicos, la reducción del tamaño de los robots, y la eliminación de la necesidad de sensores con pines.

Siguiendo la teoría de Rogers<sup>47</sup>, los innovadores y los primeros en adoptar (*early adopters*) serán los que tendrán que demostrar, a través de la evidencia, si esta tecnología demuestra todos los beneficios prometidos o queda como otra tecnología más impulsada por la industria.

A la vez que la tecnología robótica sigue desarrollándose, es necesaria la realización de estudios a largo plazo que evalúen la supervivencia de los implantes y las complicaciones, así como la evaluación de la función y la satisfacción tanto de los pacientes como de los cirujanos.

Siempre que la adquisición de datos sea correcta, esperamos que el *big data* y el *machine learning* nos permitan resolver dudas hasta ahora no resueltas. Para ello es importante que, como cirujanos, trabajemos en establecer las preguntas clínicamente relevantes y sepamos cómo explotar estos datos. También será importante dilucidar quién es el propietario de estos datos (paciente, industria, centros sanitarios o registros nacionales) y quién podrá analizar estos datos, para que su explotación posterior no esté sujeta a sesgos por intereses comerciales. Tal vez, en un futuro, este *big data*, nos ayude tanto a cirujanos como a pacientes, a personalizar y poder elegir el mejor tipo de implante, el mejor equilibrio ligamentario y la mejor alineación para cada caso, obteniendo así los mejores resultados funcionales y de satisfacción para cada paciente.

## Conclusiones

Por un lado, la ATRar nos permite realizar una ATR con alta precisión y reproducibilidad, disminuyendo la variabilidad respecto a nuestra planificación pre o intraoperatoria en comparación con las ATRc. Nos permite un control intraoperatorio de los espacios y del balance permitiéndonos realizar una mejor rehabilitación funcional y de forma secundaria reducir la estancia hospitalaria.

Por otro lado, actualmente no podemos obviar los costes añadidos, el aumento de radiación en algunos casos y la curva de aprendizaje asociada a esta nueva técnica.

En cuanto a calidad de vida, resultados funcionales, complicaciones y supervivencia del implante, los datos existentes hasta el momento todavía no permiten responder si los teóricos beneficios a largo plazo compensarán las limitaciones y decidir si esta tecnología ha venido para quedarse.

## Nivel de evidencia

Nivel de evidencia II.

## Financiación

El presente manuscrito no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés.

## Agradecimientos

Agradecemos a todo el equipo de rodilla del Hospital Clínic de Barcelona.

## Bibliografía

1. Real Academia Española [consultado 2 May 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/robot>.
2. Bautista M, Manrique J, Hozack WJ. Robotics in Total Knee Arthroplasty. *J Knee Surg*. 2019;32:600–6.
3. Kayani B, Konan S, Ayuob A, Onochie E, Al-Jabri T, Haddad FS. Robotic technology in total knee arthroplasty: a systematic review. *EFORT Open Rev*. 2019;4:611–7.
4. Liow MHL, Chin PL, Pang HN, Tay DKJ, Yeo SJ. THINK surgical TSolution-One®(Robodoc) total knee arthroplasty. Vol. 3. SICOT-J. EDP Sciences. 2017;3.
5. Siddiqi A, Horan T, Molloy RM, Bloomfield MR, Patel PD, Piuze NS. A clinical review of robotic navigation in total knee arthroplasty: historical systems to modern design. *EFORT Open Rev*. 2021;6:252–69.
6. Li Z, Chen X, Wang X, Zhang B, Wang W, Fan Y, et al. Original article HURWA robotic-assisted total knee arthroplasty improves component positioning and alignment – A prospective randomized and multicenter study. *J Orthop Translat*. 2022;33:31–40, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jot.2021.12.004>.
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;19:1069–76.
8. Onggo JR, Onggo JD, de Steiger R, Hau R. Robotic-assisted total knee arthroplasty is comparable to conventional total knee arthroplasty: a meta-analysis and systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2020.
9. Kayani B, Haddad FS. Robotic total knee arthroplasty. *Bone Joint Res*. 2019;8:438–42.
10. Park SE, Lee CT. Comparison of Robotic-Assisted and Conventional Manual Implantation of a Primary Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2007;22:1054–9.
11. Hampp EL, Sodhi N, Scholl L, Deren ME, Yenna Z, Westrich G, et al. Less iatrogenic soft-tissue damage utilizing robotic-assisted total knee arthroplasty when compared with a manual approach: A blinded assessment. *Bone Joint Res*. 2019;8.
12. Ochoa-Cázares R, Cuadra-Castillo M. Total knee arthroplasty with surgical navigation. Why use it? *Acta Ortop Mex*. 2013;27:205–10.
13. Bae DK, Song SJ. Computer assisted navigation in knee arthroplasty. *Clin Orthop Surg*. 2011;3:259–67, <http://dx.doi.org/10.4055/cios.2011.3.4.259>.
14. Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, Mahomed NN, Charron KDJ. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: Who is satisfied and who is not? *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468:57–63.
15. Begum FA, Kayani B, Morgan SDJ, Ahmed SS, Singh S, Haddad FS. Robotic technology: current concepts, operative techniques and emerging uses in unicompartmental knee arthroplasty. *EFORT Open Rev*. 2020;5:312–8.
16. Lustig S, Sappey-Marinié E, Fary C, Servien E, Parratte S, Batailler C. Personalized alignment in total knee arthroplasty: Current concepts. *SICOT J*. 2021;7:1–9.
17. Begum FA, Kayani B, Magan AA, Chang JS, Haddad FS. Current concepts in total knee arthroplasty?: mechanical, kinematic, anatomical, and functional alignment. *Bone Jt Open*. 2021;2:397–404.
18. Kayani B, Haddad FS. Robotic total knee arthroplasty. *Bone Joint Res*. 2019;8:438–42.
19. Stulberg SD. Computer navigation as a teaching instrument in knee reconstruction surgery. *J Knee Surg*. 2007;20:165–72.
20. Kayani B, Konan S, Pietrzak JRT, Haddad FS. Iatrogenic Bone and Soft Tissue Trauma in Robotic-Arm Assisted Total Knee Arthroplasty Compared With Conventional Jig-Based Total

- Knee Arthroplasty: A Prospective Cohort Study and Validation of a New Classification System. *J Arthroplasty*. 2018;33:2496–501.
21. Sultan AA, Piuzei N, Khlopas A, Chughtai M, Sodhi N, Mont MA. Utilization of robotic-arm assisted total knee arthroplasty for soft tissue protection. *Expert Rev Med Devices*. 2017;14:925–7.
22. Kayani B, Konan S, Ayuob A, Onochie E, Al-Jabri T, Haddad FS. Robotic technology in total knee arthroplasty: a systematic review. *EFORT Open Rev*. 2019;4:611–7.
23. Kayani B, Konan S, Huq SS, Tahmassebi J, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty has a learning curve of seven cases for integration into the surgical workflow but no learning curve effect for accuracy of implant positioning. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019;27:1132–41.
24. Sodhi N, Khlopas A, Piuzei NS, Sultan AA, Marchand RC, Malkani AL, et al. The Learning Curve Associated with Robotic Total Knee Arthroplasty. *J Knee Surg*. 2018;31:17–21.
25. Pietrzak JRT, Rowan FE, Kayani B, Donaldson MJ, Huq SS, Haddad FS. Preoperative CT-Based Three-Dimensional Templating in Robot-Assisted Total Knee Arthroplasty More Accurately Predicts Implant Sizes than Two-Dimensional Templating. *J Knee Surg*. 2019;32:642–8.
26. Ponzio DY, Lonner JH. Preoperative Mapping in Unicompartmental Knee Arthroplasty Using Computed Tomography Scans Is Associated with Radiation Exposure and Carries High Cost. *J Arthroplasty*. 2015;30:964–7.
27. D'Amore T, Klein G, Lonner J. The Use of Computerized Tomography Scans in Elective Knee and Hip Arthroplasty—What Do They Tell Us and at What Risk? *Arthroplast Today*. 2022;15:132–8.
28. Smith TJ, Siddiqi A, Forte SA, Judice A, Sculco PK, Vigdorchik JM, et al. Periprosthetic Fractures Through Tracking Pin Sites Following Computer Navigated and Robotic Total and Unicompartmental Knee Arthroplasty: A Systematic Review. *JBJS Rev*. 2021;9:e20.0091.
29. Beldame J, Boisrenoult P, Beaufils P. Pin track induced fractures around computer-assisted TKA. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2010;96:249–55, <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2009.12.005>
30. Thomas TL, Goh GS, Nguyen MK, Lonner JH. Pin-Related Complications in Computer Navigated and Robotic-Assisted Knee Arthroplasty: A Systematic Review. *J Arthroplasty*. 2022;37:2291–307.
31. Christen B, Tanner L, Ettinger M, Bonnin MP, Koch PP, Calliess T. Comparative Cost Analysis of Four Different Computer-Assisted Technologies to Implant a Total Knee Arthroplasty over Conventional Instrumentation. *J Pers Med*. 2022;12:1–10.
32. Vermue H, Tack P, Gryson T, Victor J. Can robot-assisted total knee arthroplasty be a cost-effective procedure? A Markov decision analysis. *Knee*. 2021;29:345–52, <https://doi.org/10.1016/j.knee.2021.02.004>
33. Rajan PV, Khlopas A, Klika A, Molloy R, Krebs V, Piuzei NS. The Cost-Effectiveness of Robotic-Assisted Versus Manual Total Knee Arthroplasty: A Markov Model-Based Evaluation. *J Am Acad Orthop Surg*. 2022;30:168–76.
34. Moschetti WE, Konopka JF, Rubash HE, Genuario JW. Can Robot-Assisted Unicompartmental Knee Arthroplasty Be Cost-Effective? A Markov Decision Analysis. *J Arthroplasty*. 2016;31:759–65, <https://doi.org/10.1016/j.arth.2015.10.018>
35. Song EK, Seon JK, Yim JH, Netravali NA, Bargar WL. Robotic-assisted T.K.A. Reduces Postoperative Alignment Outliers Improves Gap Balance Compared to Conventional T.K.A. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471:118–26.
36. Onggo JR, Onggo JD, de Steiger R, Hau R. Robotic-assisted total knee arthroplasty is comparable to conventional total knee arthroplasty: a meta-analysis and systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2020;140:1533–49.
37. Siebert W, Mai S, Kober R, Heeckt PF. Technique and first clinical results of robot-assisted total knee replacement. *Knee*. 2002;9:173–80.
38. Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Rowan F, Haddad F. An assessment of early functional rehabilitation and hospital discharge in conventional versus robotic-arm assisted unicompartmental knee arthroplasty. *Bone Joint J*. 2019;101B:24–33.
39. Malkani AL, Roche MW, Kolisek FR, Gustke KA, Hozack WJ, Sodhi N, et al. Manipulation Under Anesthesia Rates in Technology-Assisted versus Conventional Instrumentation Total Knee Arthroplasty. *Surg Technol Int*. 2020;36:336–40.
40. Ren Y, Cao S, Wu J, Weng X, Feng B. Efficacy and reliability of active robotic-assisted total knee arthroplasty compared with conventional total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Postgrad Med J*. 2019;95:125–33.
41. Kim YHH, Yoon SHH, Park JWW, Does Robotic-assisted T.K.A. Result in Better Outcome Scores or Long-Term Survivorship Than Conventional TKA? A Randomized, Controlled Trial. *Clin Orthop Relat Res*. 2020;478:266–75.
42. Song EK, Seon JK, Yim JH, Netravali NA, Bargar WL. Robotic-assisted T.K.A. reduces postoperative alignment outliers and improves gap balance compared to conventional TKA knee. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471:118–26.
43. Kayani B, Konan S, Ayuob A, Onochie E, Al-Jabri T, Haddad FS. Robotic technology in total knee arthroplasty: a systematic review. *EFORT Open Rev*. 2019;4:611–7.
44. Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and Radiological Outcomes in Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty*. 2020;35:3393–409.
45. Mulcahy H, Chew FS. Current concepts in knee replacement: complications. *AJR Am J Roentgenol*. 2014;202:W76–86, <https://www.ajronline.org/doi/10.2214/AJR.13.11308>
46. Scott CEH, Howie CR, MacDonald D, Biant LC. Predicting dissatisfaction following total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92-B:1253–8.
47. Rogers EM. *Diffusion of Innovations*. New York: Free Press; 1962.
48. <https://www.prnewswire.com/news-releases/tsolution-one-surgical-system-hits-double-digits-in-total-knee-arthroplasty-cases-in-korea-300527142.html> [consultado 3 May 2022].
49. <https://www.stryker.com/us/en/portfolios/orthopaedics/joint-replacement/mako-robotic-arm-assisted-surgery.html> [consultado 3 May 2022].
50. Mitra R, Jaramaz B. NAVIO Surgical System—Handheld Robotics. In: *Handbook of Robotic and Image-Guided Surgery*. Elsevier; 2020. p. 443–57. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128142455000268> [consultado 3 May 2022].
51. <https://www.smith-nephew.com/professional/products/robotics/cori-surgical-system/> [Consultado 3 May 2022].
52. <https://www.zimmerbiomet.eu/en/products-and-solutions/specialties/knee/rosa-knee-system.html> [consultado 3 May 2022].
53. <https://www.jnjmedtech.com/en-US/news-events/depuy-synthes-illustrates-future-connected-or-itsexpanding-velys-digital-surgery> [consultado 3 May 2022].