

Reemplazo total de rodilla asistido por el robot ROSA

Andrés Zuain, Julián Costantini, Carlos Yacuzzi, Matías Costa Paz

Sector Rodilla, Servicio de Ortopedia y Traumatología, Hospital Italiano de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

El reemplazo total de rodilla es un procedimiento con excelentes resultados, siempre y cuando se alcancen los objetivos de alineación y balance ligamentario. El confort y el bienestar posoperatorios se logran mediante un implante adecuado para cada paciente y el correcto posicionamiento de la prótesis. El sistema robótico ROSA utiliza información recolectada antes de la cirugía y durante esta, y le otorga al cirujano las herramientas necesarias para reproducir la anatomía específica de cada paciente. De esta manera, se logran implantes personalizados basados en los reparos anatómicos de cada individuo y en una planificación a partir de datos biométricos concretos.

Palabras clave: ROSA; robótica; reemplazo total de rodilla asistido.

Nivel de Evidencia: IV

ROSA Robotic-Assisted Total Knee Replacement

ABSTRACT

Total knee replacement is a procedure with excellent outcomes as long as the objectives of alignment and ligament balance are met. Postoperative comfort and well-being are achieved through a suitable implant for each patient and the correct positioning of the prosthesis. The ROSA robotic system uses information collected before and during surgery, and provides the surgeon with the necessary tools to reproduce the specific anatomy of each patient. In this way, personalized implants are achieved based on the anatomical landmarks of each individual and planning based on specific biometric data.

Keywords: ROSA; robotics; robotic-assisted TKR.

Level of Evidence: IV

INTRODUCCIÓN

Los principales objetivos en la cirugía de reemplazo total de rodilla (RTR) son la restauración de la alineación del miembro, el correcto posicionamiento de los componentes protésicos y el adecuado balance ligamentario. Logrando una alineación y cinemática adecuadas de la rodilla con una correcta técnica quirúrgica, se consiguen excelentes resultados funcionales en el RTR. En la bibliografía, se reporta hasta un 20% de insatisfacción del paciente con el resultado posoperatorio. El dolor, la inestabilidad y la limitación del rango de movilidad son los síntomas más comunes.^{1,2} Con la técnica convencional, se han observado valores de alineación de 3° o más del eje neutro.³⁻⁵ Por este motivo, en los últimos años, se han desarrollado tecnologías para mejorar la precisión de los cortes óseos y la ubicación de los componentes.⁶⁻⁹ Estas técnicas, en principio, están asociadas a una menor necesidad de liberación de partes blandas. Estos avances, de la mano de la cirugía robótica con ROSA, han demostrado su eficacia en lograr una alineación más precisa y reproducible, lo que, a su vez, conlleva mejores resultados y mayor satisfacción por parte del paciente.

El desarrollo de la cirugía robótica tiene estrecha relación con los avances tecnológicos de los últimos 20 años, y comenzó con la asistencia computarizada y la navegación a principios del 2000. Se han diseñado diferentes tipos de sistemas robóticos con diversas características, como la autonomía del robot, la necesidad o no de planificación 3D previa, el uso de guías de corte o sierra incorporada o no.^{10,11}

Recibido el 18-5-2022. Aceptado luego de la evaluación el 15-9-2022 • Dr. ANDRÉS ZUAIN • andres.zuain@hospitalitaliano.org.ar

 <https://orcid.org/0000-0001-5904-3847>

Cómo citar este artículo: Zuain A, Costantini J, Yacuzzi C, Costa Paz M. Reemplazo total de rodilla asistido por el robot ROSA. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol* 2022;87(6):838-850. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2022.87.6.1579>

El asistente robótico ROSA es un sistema nuevo aplicado a los RTR, recientemente introducido. Los sistemas anteriores disponibles en el mercado difieren de este en cuanto al método de uso (algunos tienen la sierra incorporada al robot, por ejemplo). Durante la última década, estos sistemas han demostrado su eficacia y seguridad,¹² pero también han planteado algunas dificultades para el cirujano en lo referente al manejo, ya que se restringe su accionar a límites predeterminados.¹³⁻¹⁵ Así, el cirujano puede tener la sensación de no controlar el procedimiento o de estar limitado con ciertos movimientos.

El nuevo asistente que aquí se presenta tiene la intención de mantener al cirujano activo, realizando el corte mientras el brazo robótico mantiene la guía todo el tiempo en el lugar definido, en el plan preoperatorio. Esto puede ser considerado como asistencia robótica, ya que el cirujano permanece a cargo del procedimiento y se apoya en este instrumento robótico inteligente. Fue presentado en marzo de 2019 y, desde entonces, su uso se ha expandido por todo el mundo. La sigla ROSA corresponde a la expresión en inglés “Robotic Surgical Assistant”. Este equipo es capaz de colocar las guías en la posición ideal, permitiendo al cirujano realizar el procedimiento con alta precisión y reproducibilidad (Figura 1). Se puede utilizar sin imágenes previas o basándose en radiografías del paciente, que luego son convertidas a un modelo 3D de la rodilla. Esto, en conjunto con el análisis del balance ligamentario intraoperatorio, permite realizar reemplazos de prótesis personalizados.

En el Hospital Italiano, hemos comenzado a usar esta tecnología para lograr mejores resultados en nuestras cirugías de reemplazo articular. Los objetivos de este estudio son describir el concepto y la técnica quirúrgica del robot ROSA, mostrando un caso operado en el hospital; señalar sus ventajas y limitaciones, y analizar lo que se ha publicado sobre el robot ROSA.



Figura 1. Robot ROSA.

CONCEPTO DEL ROBOT ROSA

Durante el desarrollo de la tecnología del robot ROSA, el objetivo fue mantener al cirujano activo y en el escenario principal de la cirugía; con este sistema, el cirujano tiene el control de la sierra y realiza los cortes, mientras el brazo robótico, equipado con una guía de corte, ubica y mantiene a esta en la posición correcta, con alta eficacia y reproducibilidad. Después del planeamiento intraoperatorio, el robot se ubica con su guía, de acuerdo con el plan quirúrgico, para realizar los cortes de fémur distal y de tibia proximal, y determina la posición de la guía de corte 4 en 1.

El brazo robótico tiene tres modos de accionar: automático, colaborativo y estático. En el modo automático, cuando el robot está alejado del campo quirúrgico, se mueve de manera independiente. A medida que se va acercando a la rodilla y al campo quirúrgico, el robot cambia a modo colaborativo. En este modo, el cirujano colabora con el brazo robótico, ejerciendo una fuerza suave sobre la guía hasta colocarla en el plano de corte sobre el hueso por reseca. En este paso, el movimiento del brazo robótico está restringido al plan de corte, pero acompaña y se adapta a cualquier movimiento de la rodilla. Luego, se verifica la posición de corte de la guía observando en la pantalla los cortes por realizar, se fija con clavijas, y se pasa al modo estático, en el cual le permitirá al cirujano realizar los diferentes cortes. Se pueden obtener correctos cortes con una hoja de sierra convencional debido a la rigidez del brazo robótico. Una vez realizados los cortes, se retiran las clavijas y el robot vuelve al modo colaborativo para realizar el siguiente corte. El objetivo final es lograr un ritmo quirúrgico fluido, incrementando la eficacia, seguridad y confiabilidad de los cortes en comparación con la técnica convencional. El robot ROSA está diseñado para asistir al cirujano en los cortes, tanto de fémur como de tibia; en el tamaño de los implantes por utilizar y su posicionamiento (inclusive la rotación del componente femoral) y en el balance ligamentario.¹⁶

Técnica quirúrgica

El sistema robótico tiene dos opciones para abordar el caso y planificarlo: basado en un modelo 3D virtual que proviene de las radiografías panorámicas previas del paciente, o sin imágenes previas, exclusivamente basado en las referencias anatómicas adquiridas durante la cirugía.

En el primer caso, se toman radiografías estándar, que luego son convertidas a un modelo 3D de la rodilla.^{17,18} Antes se le coloca al paciente una marcación calibrada (un velcro posicionado en el muslo y otro en el tobillo) (Figura 2). Se utilizan estas imágenes para crear el modelo 3D que servirá de planificación para el cirujano. Con esta técnica, ya se dispone en este paso del tamaño y el posicionamiento de los componentes protésicos.



Figura 2. Toma de radiografías con la marcación calibrada, que luego se convierten a un modelo 3D para la planificación preoperatoria.

Para la segunda opción, antes de la cirugía, se toman las radiografías de la misma manera que para la técnica convencional. La planificación durante la cirugía se basa en las referencias óseas y el balance ligamentario, información recabada al inicio del procedimiento. Las dos opciones han demostrado ser altamente eficaces.

Configuración

El sistema robótico ROSA comprende dos partes principales, las cuales se encuentran una a cada lado del campo quirúrgico. Una unidad robótica que consiste en el brazo robótico y una pantalla táctil, y una unidad óptica que incluye una cámara infrarroja que se desprende de un brazo robótico y una pantalla táctil (Figura 3). La guía de corte universal del robot ROSA se ubica al final del brazo del sistema robótico. Se pueden utilizar distintos implantes compatibles con el sistema (Persona/NexGen/Vanguard, Zimmer, Biomet). Tanto el brazo robótico como la óptica, el instrumental y la rodilla del paciente están conectados mediante visión infrarroja.



Figura 3. Brazo robótico con la guía de corte (A) y la óptica (B).

El cirujano y el robot se ubican del mismo lado del campo quirúrgico y el sistema de visión se coloca del lado opuesto (Figura 4). El primer paso consiste en configurar al robot en relación con la rodilla del paciente y luego calibrar el brazo robótico con la óptica.



Figura 4. Posicionamiento del robot en el quirófano.

Registro y planificación

El procedimiento con el robot requiere de la instalación de dos elementos rígidos, uno en el fémur y otro en la tibia, como en la mayoría de los sistemas robóticos. Estos elementos llamados “trackers” pueden colocarse por dentro o por fuera de la incisión realizada, según el criterio del cirujano. Deben estar lo suficientemente alejados de la rodilla para evitar cualquier conflicto entre el instrumental durante la cirugía y el “tracker” de la tibia debe estar ubicado lo suficientemente distal para no interferir con la colocación del componente tibial.

Una vez colocados los “trackers” en el hueso, se obtienen las referencias femorales y tibiales. Primero, se establece la localización del centro de la cabeza femoral, capturando 14 distintas posiciones de la cadera a lo largo de su circunducción. El eje mecánico del fémur se determina con el centro de la cabeza femoral y el punto de entrada distal del canal femoral. El resto de los puntos de registro del fémur distal comprenden los cóndilos femorales distales medial y lateral, y los epicóndilos medial y lateral. Los cóndilos posteriores son referencias para el eje condilar posterior, y el surco troclear anterior y posterior reflejan la línea de Whiteside. La cortical anterior nos otorga el tamaño del componente femoral y su posición, y determina si se está realizando muescas (*notching*). El eje mecánico de la tibia está determinado por los maléolos medial y lateral a distal y por el punto de entrada al canal endomedular tibial. La rotación tibial toma como referencia el tercio medio de la tuberosidad anterior de la tibia y la inserción del ligamento cruzado posterior. Se obtienen también los cortes óseos por realizar en el platillo medial y en el lateral. Un dato importante en este punto es no perforar el cartílago articular con el puntero al tomar estas referencias.

El próximo paso consiste en constatar la laxitud ligamentaria realizando el estrés en varo y en valgo, en distintos puntos de flexión de la rodilla; los valores más importantes son los tomados con la rodilla en extensión y a 90° de flexión. La laxitud puede ser valorada también a 30°, 45°, 60° y 120° de flexión. Los valores obtenidos servirán para guiar la colocación de la prótesis en los distintos planos, los tamaños de los implantes y, consecuentemente, el balance ligamentario. Esta evaluación del balance ligamentario se puede realizar antes de la planificación, pero después del abordaje y la resección de los osteofitos, durante la realización de los cortes con un espaciador (si es necesario), al final del procedimiento con los implantes de prueba o los definitivos. Puede efectuarse en cualquier momento para adaptar la planificación, si así se desea. También el cirujano puede decidir no utilizar la evaluación ligamentaria y realizar el procedimiento mediante una técnica basada exclusivamente en los cortes óseos.

Una vez recolectadas las referencias óseas y luego de evaluar la laxitud ligamentaria, el cirujano decide la planificación final de acuerdo con sus preferencias. Durante esta planificación, se determinan muchos parámetros: el tamaño de los componentes femoral y tibial, la orientación de los cortes óseos (fémur distal, anterior, posterior y tibial) y su grosor, sobre la base de toda la información provista. Se obtienen valores predictivos de las brechas y la alineación definitiva (Figura 5).



Figura 5. La orientación de las resecciones óseas y la posición y el tamaño de los implantes permiten ajustar las brechas en extensión y en flexión, y la alineación final de todo el miembro. La modificación de todos estos valores dará información instantánea de la alineación y las brechas.

Resecciones óseas

Una vez realizada la planificación, la pantalla continuará con el “Panel de resección”. La secuencia de los cortes, ya sea de tibia o fémur primero, es a preferencia del cirujano. Eligiendo una u otra en la pantalla táctil, el robot ROSA moverá su brazo de manera automática hacia la rodilla. Una vez que este alcanza el campo quirúrgico, se activa el modo colaborativo y el cirujano acompaña la guía de corte hacia la posición donde debería colocarse, mientras el robot se mantiene en los planos coronal y sagital indicados, y a la altura de la resección planificada. Se obtienen instantáneamente en la pantalla los valores de los cortes por realizar, para poder comprobarlos con los valores planificados (compensando cualquier movimiento de la rodilla). Alineada la guía con el corte, esta se fija con dos clavijas y se realiza la resección utilizando una sierra convencional (Figura 6). Una vez efectuada, se apoya un sistema de validación sobre el hueso para confirmar que fue acorde con lo planeado. Cada corte puede ser modificado en todo momento, de ser necesario.



Figura 6. Cuando la guía es fijada al hueso y el robot se bloquea en posición, se logra una construcción firme, sobre la cual el cirujano puede realizar los cortes óseos.

La técnica convencional tiene como objetivo lograr una alineación neutra del miembro inferior operado (dentro de un rango de 0 a 3°), colocando los componentes femoral y tibial perpendiculares a sus respectivos ejes mecánicos. Los cortes óseos se realizan de manera independiente unos de otros (comenzando habitualmente por el fémur distal), pero teniendo una relación estrecha, ya que tanto el corte del fémur distal como el de los cóndilos posteriores deben ser paralelos al corte tibial. El balance ligamentario se obtiene mediante la liberación secuencial de partes blandas para equilibrar el compartimento medial y el lateral, tanto en flexión como en extensión. La estabilidad del reemplazo de rodilla se basa en el correcto posicionamiento de los implantes protésicos y en las adecuadas brechas en todo el rango de movilidad.

Describimos el caso de un paciente de 76 años al que se le practicó un RTR izquierda con la asistencia del robot ROSA. En el examen físico, el paciente refería gonalgia, secundaria a gonartrosis tricompartmental (Figura 7). Tenía buena movilidad preoperatoria, dolor predominantemente interno, con un deseje en varo de alrededor de 12°.



Figura 7. A y B. Radiografías de rodilla, de frente y de perfil. C. Escanograma, tomados antes de la cirugía.

Una vez instalados los “trackers” y realizado el abordaje pararrotiliano medial, se resecan por completo los meniscos junto a los ligamentos cruzados; se resecan los osteofitos mediales, los cuales abren la brecha a medial y generan la liberación suficiente para equilibrar ambos compartimentos. En este momento, se toman las referencias óseas previamente descritas. Se procede a evaluar la laxitud ligamentaria y la movilidad preoperatoria, y se planifican primero los cortes del fémur en la pantalla. En la técnica de reemplazo en genu varo, típicamente, la cantidad de hueso reseca en la tibia será mayor del platillo lateral que del medial, mayor en el cóndilo femoral medial a distal y del lado medial en los cóndilos posteriores. Se realizan todos los cortes y se mide la brecha en extensión con un espaciador. Se visualiza en la pantalla si existe un varo residual o una contractura en flexión. Se liberan, de manera secuencial, las partes blandas, si es necesario. Se flexiona la rodilla y se coloca la guía de corte del robot

ROSA para realizar el resto de los cortes de fémur. Se verifica la rotación alineándola con el eje transepicondileo, la cual presenta rotación externa de 3° respecto del eje condilar posterior. Se realizan los cortes según lo planificado. Se colocan los componentes de prueba y se lleva a cabo una evaluación final, considerando el rango de movilidad completo, la alineación y la estabilidad en flexión y en extensión. Si todo esto es satisfactorio, se colocan los componentes definitivos (Figuras 8 y 9).

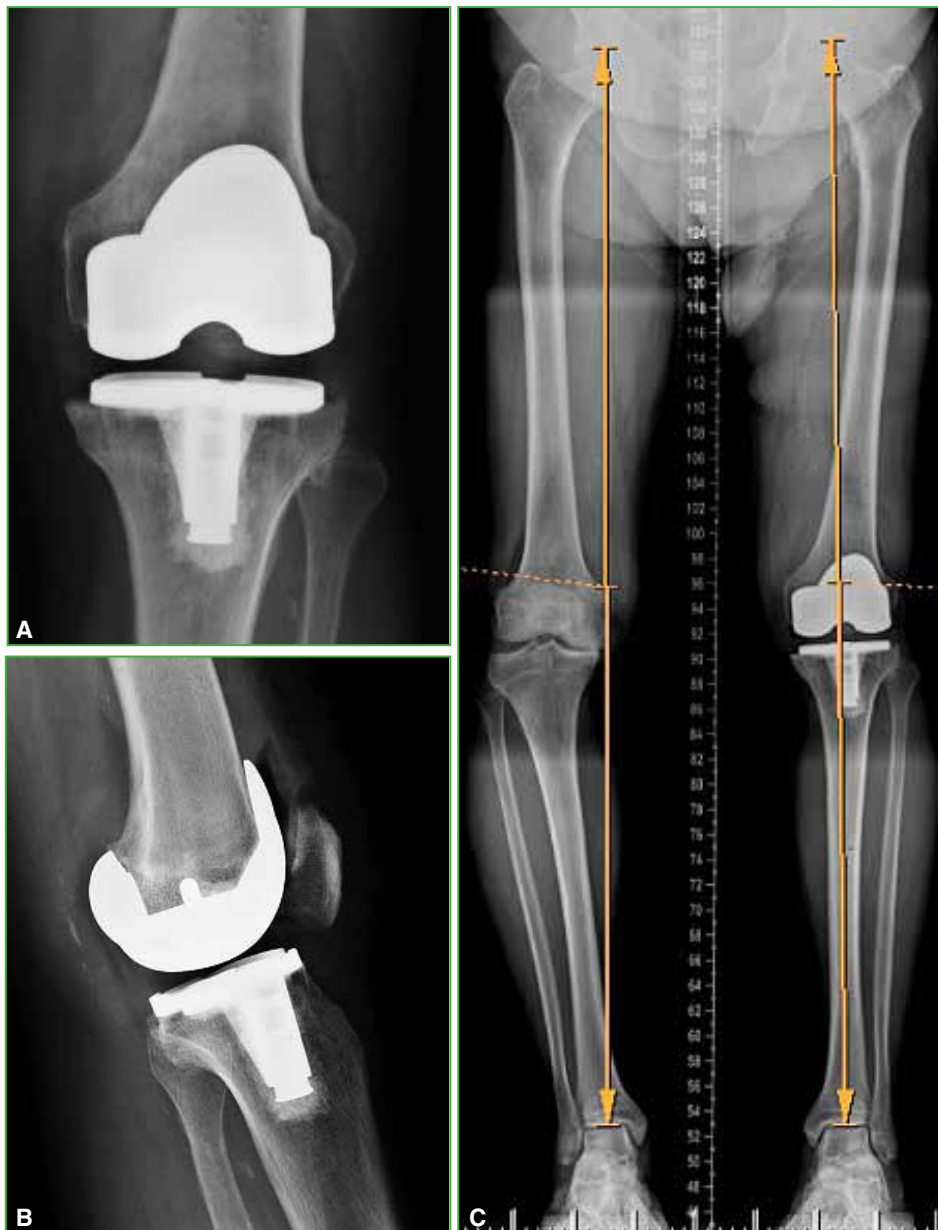


Figura 8. A y B. Radiografías de rodilla, de frente y de perfil. C. Escanograma, tomados después de la cirugía.



Figura 9. Evaluación final (con componentes de prueba o definitivos) del rango de movilidad y del balance ligamentario en flexión y en extensión.

Indicaciones

Las actuales indicaciones del uso y la asistencia del robot ROSA son: prótesis unicompartmentales, prótesis primarias complejas como grandes deseos, secuelas de fracturas o deformidades extrarticulares. Actualmente se está utilizando en prótesis primarias convencionales para lograr un buen manejo del robot y todas las variables por tener en cuenta, aunque el objetivo final es utilizarlo en los casos antes mencionados, ya que la asistencia robótica ayudaría a lograr mejores resultados de alineación y balance ligamentario en aquellos casos complejos.

Ventajas y limitaciones

Las características de este sistema son su simplicidad y que permite mantener un ritmo quirúrgico fluido, así como minimizar el tiempo de configuración del robot, lo que, a su vez, brinda altos índices de exactitud para la orientación de los componentes y los cortes óseos.

Entre las ventajas, se pueden mencionar las siguientes:

- Uso de radiografías para la planificación (menos costosas, menos radiación que la tomografía computarizada y más simples para el paciente). Estas radiografías son con carga, por lo que representan una posición más funcional sobre la cual planificar. No es imprescindible realizarlas, ya que el robot ROSA tiene la opción de planificar tomando como referencia los parámetros intraoperatorios (esto puede ser considerado otra ventaja).
- Sistema robótico colaborativo, donde el robot mantiene la guía de corte en el lugar preciso y el cirujano está en constante control y con la sensación táctil de la sierra y el resto del instrumental. El concepto del robot ROSA es complementar las habilidades del cirujano y no sustituirlo. La secuencia de los cortes, el posicionamiento del implante, el eje mecánico y el balance ligamentario son individualizados para cada paciente, a preferencia del cirujano.
- Fácil de manipular y no requiere mucho tiempo para su configuración.
- Una sola guía de corte, fácilmente manipulable con tres modos de acción.
- Mayor exactitud y precisión en los cortes óseos.
- Menor pérdida hemática (al no invadir los canales endomedulares con las guías de corte).
- Menor daño a las partes blandas (la exposición es la mínima necesaria para la visualización de las clavijas por parte del robot).
- Estancia hospitalaria más corta.
- Recuperación posquirúrgica más rápida.
- Posiblemente, mejor recuperación funcional y rango de movilidad.

Entre las limitaciones, se encuentran las siguientes:

- Costo significativo (no es accesible para todos los cirujanos).
- Aún no se han demostrado mejores resultados funcionales en los pacientes operados con asistencia robótica.
- Curva de aprendizaje (especialmente para la planificación intraoperatoria). La información que se brinda en la pantalla en este paso es abundante y puede llegar a ser confusa. Se necesita experiencia en este paso, ya que, si la planificación no es apropiada, no hay reajuste automático por parte del sistema, por el momento.
- Las complicaciones específicas del sistema robótico, como la rotura de las clavijas o la fractura en la localización de estas, no son frecuentes y se pueden evitar con una mejor técnica de colocación.

Este sistema robótico es reciente y todavía no existen estudios clínicos con suficiente seguimiento como para reportar resultados funcionales. De todas maneras, dos estudios cadavéricos han informado sobre la exactitud de esta técnica. Parratte y cols. han demostrado la exactitud y reproducibilidad de este dispositivo en una serie de 30 rodillas cadavéricas.¹⁹ Los autores compararon tres medidas diferentes: la planificación preoperatoria de los cortes óseos por realizar con el robot ROSA, la real medida del corte realizado y el grosor de hueso resecado para cada corte. Para estandarizar el procedimiento, se fijó como objetivo una alineación final de 0°, practicando cortes perpendiculares al eje mecánico, tanto del fémur como de la tibia en el plano coronal. Los cortes utilizando el robot ROSA tuvieron una alta precisión. Respecto de la angulación de los cortes, no hubo diferencias significativas entre los valores planificados y los medidos, excepto para el de la flexión femoral, que tuvo una diferencia promedio <1°. No se observaron diferencias en los valores del grosor resecado de hueso, excepto en el corte distal del cóndilo femoral medial y en el platillo tibial medial. La diferencia promedio en la alineación final del miembro fue <1°.

En otro estudio cadavérico, Seidenstein y cols. compararon la exactitud del robot ROSA con la técnica convencional para los RTR.²⁰ Se analizaron dos grupos: uno compuesto por 20 rodillas operadas con la técnica convencional y el otro, por 14 rodillas operadas con la asistencia del robot ROSA. Todos los cortes fueron validados con el dispositivo del robot ROSA diseñado para esa función específica y las resecciones óseas medidas con un calibrador. La exactitud de los valores de la angulación de los cortes mejoró significativamente en el grupo operado con asistencia robótica. Para estos, la diferencia fue <0,6°. En cuanto a la medición del hueso resecado, los valores fueron todos <0,7 mm. Todos los valores en el grupo operado con la asistencia del robot ROSA estuvieron dentro de los 2 mm respecto de lo planificado, excepto para la resección de fémur distal (93%). El sistema robótico condujo a resecciones óseas exactas con menor error, comparado con la técnica convencional. El corte del fémur distal fue menos exacto que el del resto, pero, aun así, sigue siendo más exacto que con la técnica estándar. Estos resultados coinciden con lo reportado por otros sistemas robóticos. Se están llevando a cabo estudios clínicos para comparar los resultados funcionales y de satisfacción del paciente.

¿HACIA DÓNDE VAMOS?

Con el advenimiento de la cirugía robótica y las nuevas tecnologías, los procedimientos tienden a simplificarse, a ser más precisos, y sus resultados se vuelven más confiables, lo que representa un paso importante para mejorar los resultados funcionales y la satisfacción del paciente después de un RTR. Analizando todas las variables que influyen en esto (además de la técnica quirúrgica), como las características específicas de cada paciente, las deformidades, la situación clínica preoperatoria, es posible advertir la importancia de cada una de ellas, y cómo modifican los resultados posoperatorios. Posiblemente, considerando todos estos puntos (pre-, intra- y posoperatorio) es que el cirujano puede mejorar su práctica diaria y tomar mejores decisiones. En lo que respecta a la cirugía robótica en sí, la utilización de este sistema llevará al cirujano a aprender de cada uno de los procedimientos y lograr un mejor desempeño en la siguiente cirugía.

CONCLUSIONES

El robot ROSA es un sistema de asistencia, semiautónomo, con características específicas comparado con los sistemas anteriores de este tipo. El objetivo de este asistente quirúrgico es mejorar la exactitud y fiabilidad de los cortes óseos y del balance ligamentario, sin reemplazar, en ninguno de los pasos, la mano del cirujano. Según los estudios preliminares, este sistema resultó reproducible y exacto para realizar los RTR.

Conflicto de intereses: Los autores no declaran conflictos de intereses.

ORCID de J. Costantini: <https://orcid.org/0000-0001-8900-6254>
 ORCID de C. Yacuzzi: <https://orcid.org/0000-0002-7732-7883>

ORCID de M. Costa Paz: <https://orcid.org/0000-0002-8217-1086>

BIBLIOGRAFÍA

- Halawi MJ, Jongbloed W, Baron S, Savoy L, Williams VJ, Cote MP. Patient dissatisfaction after primary total joint arthroplasty: the patient perspective. *J Arthroplasty* 2019;34(6):1093-6. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.01.075>
- Palazzo C, Jourdan C, Descamps S, Nizard R, Hamadouche M, Anract P, et al. Determinants of satisfaction 1 year after total hip arthroplasty: the role of expectations fulfilment. *BMC Musculoskelet Disord* 2014;15:53. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-15-53>
- Hetaimish BM, Khan MM, Simunovic N, Al-Harbi HH, Bhandari M, Zalzal PK. Meta-analysis of navigation vs conventional total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2012;27(6):1177-82. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2011.12.028>
- Bollars P, Boeckxstaens A, Mievis J, Kalai S, Schotanus MGM, Janssen D. Preliminary experience with an image-free handheld robot for total knee arthroplasty: 77 cases compared with a matched control group. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2020;30(4):723-9. <https://doi.org/10.1007/s00590-020-02624-3>
- Liow MHL, Xia Z, Wong MK, Tay KJ, Yeo SJ, Chin PL. Robot-assisted total knee arthroplasty accurately restores the joint line and mechanical axis. A prospective randomised study. *J Arthroplasty* 2014;29(12):2373-7. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2013.12.010>
- Smith AF, Eccles CJ, Bhimani SJ, Denehy KM, Bhimani RB, Smith LS, et al. Improved patient satisfaction following robotic-assisted total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2021;34(7):730-8. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1700837>
- Figueroa F, Wakelin E, Twiggs 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;26(4):869-75. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2019.05.004>
- Hampp EL, Chughtai M, Scholl LY, Sodhi N, Bhowmik-Stoker M, Jacofsky DJ, et al. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty demonstrated greater accuracy and precision to plan compared with manual techniques. *J Knee Surg* 2019;32(3):239-50. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1641729>
- Mullaji A, Kanna R, Marawar S, Kohli A, Sharma A. Comparison of limb and component alignment using computer-assisted navigation versus image intensifier-guided conventional total knee arthroplasty: a prospective, randomized, single-surgeon study of 467 knees. *J Arthroplasty* 2007;22(7):953-9. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2007.04.030>
- Bautista M, Manrique J, Hozack WJ. Robotics in total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2019;32(7):600-6. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1681053>
- Sires JD, Craik JD, Wilson CJ. Accuracy of bone resection in MAKO total knee robotic-assisted surgery. *J Knee Surg* 2021;34(7):745-8. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1700570>
- Marchand RC, Sodhi N, Anis HK, Ehiorobo J, Newman JM, Taylor K, et al. One-year patient outcomes for robotic-arm-assisted versus manual total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2019;32(11):1063-8. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1683977>
- 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):930-7. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1449.R1>
- Biant LC, Yeoh K, Walker PM, Bruce WJM, Walsh WR. The accuracy of bone resections made during computer navigated total knee replacement. Do we resect what the computer plans we resect? *Knee* 2008;15(3):238-41. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2008.01.012>
- Casper M, Mitra R, Khare R, Jaramaz B, Hamlin B, McGinley B, et al. Accuracy assessment of a novel image-free handheld robot for total knee arthroplasty in a cadaveric study. *Comput Assist Surg (Abingdon)* 2018;23(1):14-20. <https://doi.org/10.1080/24699322.2018.1519038>

16. Batailler C, Hannouche D, Benazzo F, Parratte S. Concepts and techniques of a new robotically assisted technique for total knee arthroplasty: the ROSA knee system. *Arch Orthop Trauma Surg* 2021;141(12):2049-58. <https://10.1007/s00402-021-04048-y>
17. Massé V, Ghate RS. Using standard X-ray images to create 3D digital bone models and patient-matched guides for aiding implant positioning and sizing in total knee arthroplasty. *Comput Assist Surg (Abingdon)* 2021;26(1):31-40. <https://doi.org/10.1080/24699322.2021.1894239>
18. Lustig S, Fleury C, Goy D, Neyret P, Donell ST. The accuracy of acquisition of an imageless computer-assisted system and its implication for knee arthroplasty. *Knee* 2011;18(1):15-20. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2009.12.010>
19. Parratte S, Price AJ, Jeys LM, Jackson WF, Clarke HD. Accuracy of a new robotically assisted technique for total knee arthroplasty: A cadaveric study. *J Arthroplasty* 2019;34(11):2799-803. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.06.040>
20. Seidenstein A, Birmingham M, Foran J, Ogden S. Better accuracy and reproducibility of a new robotically-assisted system for total knee arthroplasty compared to conventional instrumentation: a cadaveric study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2021;29(3):859-66. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06038-w>