

¿Qué queda de la navegación pre e intraoperatoria? Revisión y actualización del tema.

C. CORRAL-MARTINEZ¹, A. SILVESTRE-MUÑOZ^{2,3}, MF MÍNGUEZ-REY^{2,3}, D. MIFSUT-MIEDES^{2,3}

¹ SERVICIO CIRUGÍA ORTOPÉDICA Y TRAUMATOLOGÍA-COT. HOSPITAL DE MANACOR (BALEARES). ² SERVICIO COT. HOSPITAL CLÍNICO UNIVERSITARIO DE VALENCIA. ³ DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA. FACULTAD DE MEDICINA. UNIVERSIDAD DE VALENCIA.

Resumen. La introducción de nuevas técnicas (navegación intra y preoperatoria) han supuesto una verdadera revolución en la cirugía de las prótesis de rodilla porque han permitido simplificar y realizar de manera mucho más eficiente el procedimiento. Se realiza una revisión bibliográfica en inglés y español de artículos que lleguen a conclusiones sobre los resultados obtenidos con cirugía tradicional y navegada, excluyendo los que no muestren logros o complicaciones de este tipo de cirugía. Hasta la fecha la navegación y las guías específicas no han podido demostrar ninguna mejora sustancial que justifique el aumento de los costes asociados a esta nueva tecnología, pero es una realidad que hoy en día todos tratamos de aprovecharnos de las ventajas de las nuevas tecnologías.

En la actualidad la navegación se está adaptando a las necesidades del cirujano y está modificando su “*interface*” para facilitar la obtención de información necesaria para realizar el procedimiento.

What remains of pre and intra-operative navigation? Review and update.

Summary. New technology (computer assisted surgery and personal specific instrumentation) has marked a milestone in the performance of total knee replacement as procedure has become easy and more efficient.

The authors perform a bibliographic review in English and Spanish of manuscripts that show outcomes with traditional and navigated surgery. Exclusion criteria are manuscripts not reflecting benefits or complications.

Until now, computer assisted surgery and personal specific instrumentation have not shown considerable gain to justify increase expenses of this new technology, however it is a fact that nowadays everyone tries to take advantage of new technologies. Currently, navigation is being adjusted to surgeons' priorities and it is changing its interface to make easier sharing data during performance.

Correspondencia:
Antonio Silvestre Muñoz
Hospital Clínico Universitario de Valencia
Avda. Blasco Ibáñez 17
46010 Valencia.
Correo electrónico: antonio.silvestre@uv.es

Introducción

La tecnología de la informática y las comunicaciones ha dado origen a numerosos avances que nos han permitido simplificar y realizar de manera mucho más eficiente diversas actividades de nuestra vida diaria. En la medicina esto se ha traducido en una revolución en los procedimientos diagnóstico-quirúrgicos de las distintas especialidades y es posible que la aplicación de esta tecnología sea una exigencia formal del paciente al

cirujano¹. En los últimos tiempos, hemos presenciado el desarrollo de sistemas que asisten a los facultativos en su práctica quirúrgica con el objetivo de mejorar resultados simplificando la técnica y aumentando su precisión, con la finalidad de reducir riesgos y morbilidad al paciente. Según cuál sea la participación de estos sistemas en el acto quirúrgico, podemos clasificarlos en cirugía simulada, cirugía guiada, cirugía asistida, cirugía por telepresencia, cirugía semiautomatizada y cirugía a distancia².

La cirugía asistida por ordenador (CAO) o *Computer Assisted Surgery* (CAS) es un conjunto de métodos de tecnología informática o de computación que se emplean durante la planificación preoperatoria, la realización de la cirugía y en la verificación del procedimiento efectuado³. El primer sistema robótico que se

empleó en cirugía y que contribuyó al desarrollo de los que se usan en la actualidad fue el robot Puma 560®, un brazo robótico que se creó para llevar a cabo biopsias cerebrales con mayor precisión^{4,5}.

Los nuevos sistemas que se utilizan hoy día en cirugía ortopédica se basan en tres ideas principales⁶.

- **Planificación pre-quirúrgica:** Mediante el uso de programas informáticos específicos es posible transformar el conjunto de datos obtenidos mediante la TC o la RM del paciente en un modelo 3D virtual de la anatomía de la zona sobre la que se va a intervenir.

- **Realidad potenciada:** El uso de la información visual pre-operatoria, en combinación con la visualización real de dicha zona, se denomina realidad mixta o potenciada. La potenciación ofrece al cirujano una ayuda visual generada por ordenador que le permite localizar estructuras internas, lo que puede guiarlo a través de las diferentes fases de una intervención. Para ello, el cirujano debe utilizar unas gafas especiales o un casco estereoscópico en donde tiene lugar la fusión de las imágenes. Para armonizar el punto de vista del cirujano y la reconstrucción apropiada de la anatomía del paciente, es necesario monitorizar los movimientos de la cabeza del cirujano mediante un sistema de seguimiento óptico o electromagnético. El ordenador establece la correspondencia entre la visión en tiempo real y las reconstrucciones 3D basadas en las imágenes preoperatorias. La realidad potenciada hará que nuestros pacientes sean virtualmente transparentes y sustituirá a los sistemas actuales de visualización utilizados para la transferencia de información morfológica.

- **Navegación intra-operatoria:** La tecnología de navegación utiliza una plataforma fundamentada en modelos 3D de realidad virtual correspondientes a la anatomía del paciente y en los que los instrumentos quirúrgicos utilizados por el cirujano son seguidos por un dispositivo óptico de localización, de manera que su imagen virtual se puede desplazar en el interior del modelo.

A pesar del avance en estos campos, todavía quedan obstáculos importantes por salvar para conseguir sistemas fiables, de uso sencillo e interacción intuitiva que permitan la integración de imágenes médicas pre-operatorias e intra-operatorias (fusión radiología-cirugía) durante el procedimiento, todo ello asociado a una modificación del entorno físico de nuestros quirófanos. El objetivo de la presente revisión es analizar si la introducción de las nuevas técnicas se han traducido, en un aumento en número suficiente de mejoras que supongan, globalmente, un mayor beneficio para el paciente y por consiguiente una rentabilidad económica al sistema de salud.

Material y Métodos

Diseño y estrategias de búsqueda

Para llevar a cabo la presente revisión bibliográfica se realizó un repaso sistemático de documentos de sociedades científicas dedicadas a la cirugía ortopédica, así como de libros, revisiones sistemáticas y estudios científicos.

En primer lugar se llevó a cabo una búsqueda de documentos que hicieran referencia al desarrollo de la robótica en la cirugía, publicados por diferentes sociedades y asociaciones profesionales tanto en España como en el contexto internacional. Esta búsqueda se hizo tanto en español como en inglés. Posteriormente, se realizó una búsqueda de revisiones sistemáticas de la literatura científica en el motor de búsqueda PUBMED y MEDLINE mediante la combinación de las palabras clave y MeSH “*total knee arthroplasty*”, “*TKA*”, “*computer assisted surgery*”, “*CAS*”, “*orthopedic*”, “*patient specific cutting blocks*”, “*alignment*”, “*navigation systems*”, “*patient specific guides*”, “*patient specific instrumentation*”, “*knee surgery*”, “*robotic-assisted surgery*”, “*preoperative mapping*”, “*robotic surgery*”, “*computer navigation*”, “*preoperative planning simulator*”, “*total knee arthroplasty kinematics*”. Estos subconjuntos de palabras se han combinado con “AND” para reducir el número de citaciones a las relevantes para la búsqueda. No se limitó por año de publicación aunque se introdujo como límite que la lengua de los estudios fuera inglés o español, para acotar la misma. Se analizaron además las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados con el fin de rescatar otros estudios potencialmente válidos para la revisión. Dichos artículos fueron localizados a través de Pubmed y de Google Scholar.

Criterios de inclusión y exclusión

En la búsqueda de literatura se incluyó todo tipo de documento aportado por las diferentes sociedades y asociaciones profesionales que hacían referencia a las técnicas de cirugía convencional y navegada en prótesis total de rodilla. Respecto a las revisiones sistemáticas y los estudios científicos se aplicó como criterio de inclusión que los estudios realizados incorporaran conclusiones sobre resultados obtenidos con los distintos tipos de cirugía. El principal criterio de exclusión fue que los artículos no incluyeran información descriptiva de las técnicas o bien de sus resultados y complicaciones en la cirugía protésica total de rodilla.

Para proceder a la selección se revisaron los abstracts y en caso necesario los artículos completos con el fin de decidir si la información que contenían estaba o no relacionada con nuestro objetivo.

La información analizada se estructuró en tres subapartados: uno dedicado a la cirugía convencional, otro dedicado a la navegación quirúrgica y otro dedica-

do a la navegación prequirúrgica. Del conjunto de estudios analizados se extrajo, para cada grupo de población, información de las siguientes variables: tiempos quirúrgicos, alineación de los componentes, pérdida hemática o necesidades transfusionales, relación coste/efectividad del procedimiento. De las revisiones sistemáticas se extrajo información sobre autoría, año, finalidad, fuentes de información, y conclusiones. De los artículos originales se extrajo información sobre autoría, revista en la que estaba publicado y año de publicación, país donde se realizó el estudio, tipo de estudio, sujetos y origen, medida de resultado, y conclusiones.

Resultados

La artroplastia de rodilla es una de las intervenciones quirúrgicas más frecuentes en cirugía ortopédica, debido a sus más que demostrados beneficios en el tratamiento de la osteoartritis de rodilla. No obstante, el porcentaje de defectos quirúrgicos, y complicaciones que llegan a provocar el fracaso de este procedimiento es aún significativo⁶. En los últimos años este hecho se está confirmando por la aplicación de cuestionarios de satisfacción, que ponen de manifiesto que hay un porcentaje de pacientes, superior a lo que se creía, que no están satisfechos con el resultado de esta técnica.

Los motivos del fracaso de esta intervención se han relacionado principalmente con una técnica quirúrgica defectuosa que da lugar a dolor, a una mala alineación de la extremidad, a un inadecuado posicionamiento de los componentes protésicos, a desequilibrios cápsulo-ligamentosos que producen inestabilidad articular, así como, a una incorrecta selección del tamaño o del tipo de prótesis más adecuado según las características del paciente (estabilidad articular, reserva ósea, etc.)⁷. Esto se traduce en un fracaso (aflojamiento) en ocasiones precoz de la prótesis, con la más que probable necesidad de un cambio prematuro del implante. No obstante, un reciente artículo de Hadi pone de manifiesto que la alineación como parámetro individual tiene una relación inconsistente con los resultados (PROMs) en cirugía primaria⁸.

Cirugía convencional o instrumentada

El perfeccionamiento de la instrumentación quirúrgica ha permitido en los últimos años una aproximación al eje fisiológico o mecánico ideal, y constituye el hecho que con mayor relevancia se ha asociado a la mejora de los resultados a largo plazo (92% a los 10 años y superiores al 80-85% a los 20 años). Sin embargo, el excesivo valgo de la rodilla, la mala posición en varo del platillo tibial y la rotación del componente femoral siguen siendo un problema pendiente de solución en esta técnica con la instrumentación manual (hasta 33% fallos)⁹. Este hecho se ha asociado a la utilización de instrumentos quirúrgicos que se apoyan en medidas

geométricas estandarizadas o en impresiones subjetivas, sin individualizar las particularidades anatómicas de cada paciente, que es lo que persiguen conseguir las nuevas tecnologías. Asimismo, algunos autores cuestionan los sistemas de medición post-operatoria y la precisión de la instrumentación tradicional⁸. Además de los citados errores en cuanto a la precisión de estos sistemas, existen también complicaciones derivadas directamente de las características de esta instrumentación que invade el canal medular como son: el mayor sangrado post-quirúrgico y la mayor incidencia de embolismo graso¹⁰, así como, la rotura de las guías dentro del mismo canal endomedular¹¹.

Por tanto, aun reconociendo las virtudes y posibilidades que aporta la instrumentación estándar en las ATR, ciertamente persisten problemas sin resolver, siendo particularmente importantes los referidos a los ángulos que forman los implantes con el eje diafisario del hueso en el plano coronal, sagital y axial. Asimismo, no podemos olvidarnos que el balance ligamentoso obtenido con la instrumentación tradicional se basa en impresiones subjetivas del cirujano, sin que exista posibilidad de verificar la tensión ligamentosa tras la colocación del implante y este desequilibrio ligamentoso con desigualdad de los espacios en flexión y extensión es uno de los factores que contribuyen en gran medida al fracaso de la artroplastia.

Cirugía asistida por ordenador navegada-CAO

En 1990 se comenzó a introducir en las especialidades quirúrgicas unos sistemas de apoyo conocidos como "*sistemas de navegación quirúrgica*" que consistían en técnicas de cirugía asistidas por ordenador. Este sistema de aditamento se utilizó por primera vez en neurocirugía⁵ como una técnica que emplea un sistema de coordenadas (esterotaxia) para localizar pequeñas estructuras dentro del cuerpo y así realizar acciones como ablación, biopsia, lesión, estimulación, implantación de dispositivos o radiocirugía.

En patología ósea, este sistema se ha utilizado en la realización de osteotomías tridimensionales de tibia, la colocación de tornillos pediculares en la cirugía del raquis, en la implantación de artroplastias de rodilla y cadera, y aisladamente, en otras situaciones donde la alineación de una extremidad resulta esencial. Estos sistemas permiten, en primer lugar, construir una imagen tridimensional a partir de referencias conocidas, y en segundo lugar, guiar la técnica quirúrgica siguiendo esta imagen virtual previa. Es posible, por tanto, reconocer la zona anatómica sin efectuar exploraciones radioscópias, radiográficas o topográficas previas¹².

La ventaja de estos sistemas (Stryker Navigation System®, Brainlab®, Orthopilot®...) es que la información que se recoge en el ordenador refleja un modelo personalizado y real de la situación y la anatomía particular

de cada paciente, permitiendo una valoración preoperatoria de las deformidades y del entorno ligamentoso, una evaluación de la técnica intra-operatoria y una estimación del resultado final esperado.

La cirugía asistida por ordenador navegada se ha empleado principalmente en cirugía primaria y en rodillas sin deformidades¹², aunque existen estudios que muestran importantes beneficios tras el uso de la navegación en rodillas con deformidades extraarticulares¹³.

La alineación es probablemente el principal beneficio del uso de la navegación. En un estudio realizado por Hernández-Vaquero se encontró que la navegación obtiene una mejoría de los ángulos femoral, tibial y femorotibial en comparación con la instrumentación estándar. En este trabajo todos los casos pertenecientes al grupo realizado con navegador revelaron un ángulo femorotibial considerado como ideal ($180 \pm 3^\circ$), mientras que eso sólo ocurrió en nueve de los pacientes intervenidos con la técnica estándar, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,0001$)¹⁴. Los resultados de estos trabajos, no obstante, fueron evaluados exclusivamente desde el punto de vista radiográfico y a corto plazo, aunque parece razonable pensar que si el eje resultante de la extremidad mejora con la CAO, los resultados clínicos a medio y largo plazo y la supervivencia del implante también serán mejores.

Menos experiencia se tiene con la CAO en el implante de ATR en rodillas con deformidades. Según algunas experiencias también la navegación aporta más exactitud en los cortes que la técnica manual y un estudio prospectivo realizado igualmente por Hernández-Vaquero en pacientes con deformidades en varo-valgo mayores de 10° ha mostrado que el ángulo femoral, el tibial, y sobre todo, el femorotibial mejoraban en comparación con la instrumentación clásica¹³. El ángulo femorotibial resultante tras la artroplastia en el grupo con navegación se situó en el 90% de los casos dentro de los valores considerados correctos ($180 \pm 3^\circ$), mientras que eso sólo ocurrió en el 50% de los pacientes intervenidos mediante instrumentación estándar, con una diferencia significativa ($p = 0,007$). Datos que contrastan con los obtenidos por Rahm, para quien la cirugía en rodillas con deformidades no muestra diferencias significativas entre la instrumentación tradicional y la CAO¹⁵.

La gestión del tiempo quirúrgico es asimismo un parámetro importante en la evaluación de la navegación en cirugía protésica de rodilla. Es constante en todas las series que el tiempo quirúrgico empleado utilizando el navegador es mayor que en la cirugía convencional, pero va decreciendo al aumentar la experiencia del profesional con la navegación. De acuerdo con la bibliografía, puede afirmarse que con la navegación el tiempo quirúrgico se prolonga unos 10-15 minutos¹⁶; este incremento del tiempo quirúrgico está principalmente relacionado con la fase inicial de toma de re-

ferencias anatómicas que permiten obtener la imagen virtual.

Por lo que se refiere a beneficios relacionados con la navegación, algunos trabajos han verificado ventajas como son: un descenso en la incidencia de embolismo grasa y la disminución de la pérdida hemática. Sin embargo, el uso de la navegación está ligado a complicaciones como infecciones superficiales, lesiones nerviosas y fracturas periprotésicas en el punto de anclaje de los pines para los sensores¹⁷.

Cirugía asistida por ordenador prenavigada

Los sistemas de navegación tienen la propiedad de representar objetos rígidos en el espacio tridimensional, es decir, de determinar su posición y orientación a partir de tres coordenadas de localización espacial y tres ángulos de orientación, lo que supone en total seis valores en cada instante del tiempo. La prenavigación consiste en la utilización de los sistemas de imagen médica avanzada (DICOM) para obtener una imagen precisa del hueso en los tres planos del espacio. Una vez aprobado el plan, se fabrican con ayuda de los ordenadores, las guías personalizadas que ajustan únicamente a la morfología de la persona para la que se han planificado.

Este sistema facilita la realización de los cortes tradicionales, además de permitir ajustar las angulaciones y los ejes de manera preoperatoria y seleccionar los componentes que se desean colocar antes incluso de que el paciente entre en el quirófano (Fig. 1). Sin embargo, a pesar de las supuestas ventajas de la disminución del tiempo operatorio y la obtención de una precisa alineación de los componentes^{18,19}, las guías de corte no han



Figura 1. Programa de modificación y planificación prequirúrgica. Signature.

sido ampliamente utilizadas en la comunidad ortopédica, debido quizás a la curva de aprendizaje²⁰ que la técnica requiere y al coste añadido que supone la realización de una técnica de imagen como la RM o la TC y la fabricación de las guías.

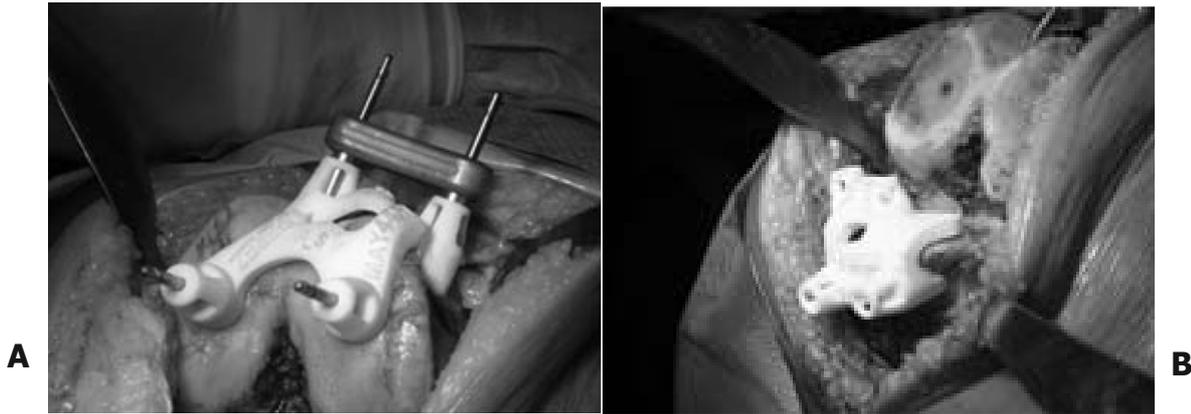


Figura 2. Uso intraoperatorio de las guías específicas. **A:** en fémur; **B:** en tibia.

Hasta la fecha, y debido al mencionado poco uso actual de las guías de corte específicas (Fig. 2), la mayoría de los estudios existentes en la literatura sobre esta instrumentación se han limitado a pequeños tamaños de muestra. A pesar de ello, sí que evidencian una disminución en el tiempo operatorio y una precisa alineación de los componentes^{18,19}. Hay autores que afirman que el eje mecánico general pasa a través del centro de la rodilla más a menudo tras la utilización de guías específicas (88%) que con la instrumentación manual (78%)^{21,22}. De la misma manera, la media global de la angulación de los componentes tibiales y femorales se acerca más a la neutralidad cuando se emplean guías^{21,22}, siendo la tasa de valores fuera de rango similar con ambas técnicas para la tibia, aunque resulta ligeramente inferior para los valores fuera de rango en el fémur²³.

No obstante, hay estudios que no muestran diferencias estadísticamente significativas en el eje mecánico, en el porcentaje de valores fuera de rango de este eje entre los grupos comparados^{18,24}, así como tampoco encuentran diferencias estadísticamente significativas en los ángulos alfa y beta²⁴. El contraste de opiniones que existe al respecto es uno de los aspectos más llamativos, puesto que, no existe una explicación coherente de por qué los resultados de las series revisadas son tan heterogéneos.

La mayor parte de los estudios realizados coinciden en la existencia de un menor tiempo de isquemia, así como, una mejora en el tiempo de cirugía (medido desde la incisión hasta el cierre cutáneo), cuando se emplean las guías de corte específico. Los resultados van desde una reducción de 5 minutos²⁴ en el tiempo quirúrgico hasta un máximo de 10 minutos²³, aunque algunos autores no encuentran esta diferencia estadísticamente significativa¹⁸. Nam²⁵ y cols. no encontraron diferencias en el tiempo de isquemia ni tampoco en el tiempo de cirugía, pero sí se evidenció un menor tiempo de estancia total en la sala de operaciones (12 minu-

tos). Hallazgos similares obtuvo Nunley²⁶ que verificó que los pacientes estaban en el quirófano una media de 12 minutos menos.

La estancia hospitalaria no se ve alterada en función del procedimiento empleado, siendo de media de 3.6 días con guías específicas o sistema tradicional²¹. Noble²², en un estudio prospectivo aleatorizado, encontró una pequeña reducción no estadísticamente significativa de la duración de la estancia hospitalaria. Por tanto, no hay evidencias de que esta técnica suponga una disminución en el tiempo de estancia hospitalaria total.

En los estudios consultados para esta revisión, también encontramos controversia respecto a las pérdidas hemáticas. Noble²², Spencer²⁷ y Chareancholvanich²⁸ no describen diferencias en la pérdida de sangre, mientras que otras publicaciones muestran pequeñas reducciones en las pérdidas hemáticas que van de 60 mL²³ a 100 mL menos²⁴ al emplear plantillas específicas. Esta disminución no se ve traducida en una reducción de las necesidades transfusionales.

Podemos concluir que cuando se comparan los resultados, se ha verificado que la cirugía pre-navegada no resulta superior a la navegada en cuanto a alineación del eje mecánico, así como, al posicionamiento de los componentes de la prótesis analizados por separado²⁵. Únicamente parece que el sistema de plantillas específicas es más eficaz que la CAS y el sistema tradicional en el restablecimiento de la pendiente tibial posterior y en la ausencia de casos extremos fuera de rango (>5°) en paciente con grandes deformidades¹⁵.

Discusión

Es una realidad que la demanda de esta cirugía seguirá aumentando, debido al éxito de la intervención y al envejecimiento de la población en los países desarrollados¹⁸. Se estima un incremento de hasta el 670% de PTR primarias para el 2030²⁹, lo que supondrá también un incremento de las revisiones, superior al 600% en ese periodo. Existe numerosa documentación que apo-

ya que la correcta alineación de los componentes es importante para evitar fallos prematuros de las prótesis y la posible necesidad de una cirugía de revisión³⁰⁻³². Los casos de mala alineación en el plano coronal se siguen presentando con relativa frecuencia en las PTR (28%)²¹ y se considera esta como uno de los factores que afectan a la longevidad del implante y a la función de la rodilla. Sin embargo, autores como Hadi creen que esta relación valorada de forma individual es poco relevante y de dudosa significación clínica⁸.

La navegación asistida por ordenador mejora la precisión y exactitud de la alineación de los componentes en comparación con la técnica convencional y reduce hasta tres veces el número de valores fuera de rango³³, pero su implantación definitiva se ha visto obstaculizada por el incremento del tiempo de intervención³⁴, el elevado coste del proceso (capital inicial para la CAO 140.000€ a 280.000€, lo que supone unos 1.500€ por procedimiento³⁵ y para una tecnología aún más avanzada como la robótica 700.000€³⁶), la posibilidad de un aumento en la tasa de complicaciones (principalmente fracturas postoperatorias en el punto de colocación de los diodos^{37,38}), así como, una sustancial curva de aprendizaje¹⁹.

Por su parte, la guía de posicionamiento específica es una nueva herramienta para alcanzar los objetivos tradicionales de la PTR, eliminando muchas de las desventajas de la CAO, como el prolongado tiempo quirúrgico y las complicaciones de los pines fiduciarios. El uso de guías específicas reduce tiempos de cirugía y de rotación de quirófano dada la reducción de pasos quirúrgicos y de instrumental empleado, lo que libera personal para otras tareas. No obstante, la preparación de estas guías consume un tiempo adicional para el facultativo y el paciente (revisión de la planificación, realización de la exploración, etc.). La no invasión del canal medular podría suponer una menor pérdida hemática²³, aunque hasta la fecha sin significación sobre una reducción de la tasa de transfusión. El coste de este procedimiento varía en función de la ubicación geográfica, pero se estima que puede oscilar entre los 350-500€, que podrían compensarse por la reducción de coste asociado de esterilización, adquisición y mantenimiento del instrumental. Ligado al uso de esta tecnología, existe la opción del empleo del instrumental desechable, “*single use instrumentation*”, que permitirá reducir la tasa de infecciones, evitará la importante inversión inicial en instrumentales por parte de las instituciones y agilizará el procedimiento quirúrgico.

El hecho de que la telemetría sea el “*gold standard*” para la evaluación de la PTR³⁹, condiciona la evaluación de los beneficios de la navegación. A este respecto, cabe mencionar además que varios estudios recientes han desafiado la premisa de que una correcta alineación coronal implique una mayor longevidad de la prótesis^{40,41}. Sin embargo, los resultados de estos

estudios no pretenden reflejar que la alineación en el plano coronal no es importante, sino más bien que la evaluación de la alineación como una variable dicotómica (alineado frente a mal alineado) es limitada y sólo puede servir como una directriz general. De hecho, el alineamiento óptimo en el plano frontal se había considerado generalmente de $\pm 3^\circ$ respecto del eje mecánico^{7,42-44}, pero más recientemente, se ha planteado la hipótesis de que el rango de 3° para la alineación óptima es una cifra arbitraria, y que es más probable que cualquier desviación desde la neutralidad reduzca la longevidad de la prótesis en una cantidad proporcional a la mala alineación⁴⁵.

Las incongruencias y la conflictividad de los resultados de los estudios realizados hasta la fecha se pueden justificar de varias maneras, siendo una de las más importantes las posibles inexactitudes generadas en las mediciones que efectuamos en la telemetría^{8, 43, 46-48}. Además, en ninguno de estos estudios se han examinado parámetros tangibles, tales como, la satisfacción del paciente, o se han evaluado resultados funcionales a largo plazo, por lo que no hay pruebas de que una mejor alineación se asocia con una mejor función y calidad de vida⁴⁹⁻⁵¹.

Con la reciente introducción de imágenes tridimensionales hay una necesidad adicional de evaluar los planos sagital y axial^{45,52,53}. La adquisición de una TC-scan para evaluar estos planos supone un importante coste, así como, una excesiva exposición a radiación lo que no permite llevarla a cabo en estudios a gran escala. Mientras la navegación (CAO y guías) es una importante herramienta en la restauración del eje mecánico, no es un sustituto de una cuidadosa planificación preoperatoria, un buen juicio clínico y una técnica de implantación precisa. No olvidemos que hay muchas variables que afectan al rendimiento y a la satisfacción del paciente portador de una prótesis, y la alineación coronal estática es sólo una medida del éxito técnico obtenido por el cirujano. Las investigaciones futuras deberían centrarse en: **1.** La medición de la alineación con las técnicas más fiables (TC-Scan) para asegurarse que el cirujano puede confiar en el plan digital, **2.** La clínica de resultados de la intervención, y por último, **3.** La evaluación de los gastos adicionales y los costes ahorrados con el procedimiento.

Una de las utilidades atribuidas a la navegación es la instrucción de los facultativos en formación, lo que minimizaría la curva de aprendizaje y mejoraría los resultados clínicos y funcionales. No obstante, no existen evidencias de que el entrenamiento en laboratorios de simulación excluya al personal en formación de la necesidad de desarrollar actividad en ambiente académico y tutelada por profesionales experimentados⁵⁴. Un error es la realización de un procedimiento navegado por un cirujano poco experimentado. La CAO no debe ser el primer eslabón de la actividad del joven en for-



Figura 3. Técnica de IAssist® para la implantación de una PTR. **A:** etapa femoral; **B:** etapa tibial.

mación, sino una etapa avanzada en su práctica quirúrgica¹.

En la actualidad la navegación se está adaptando a las necesidades del cirujano y está modificando su “*interface*” para facilitar la obtención de información. Entre las variantes de la navegación disponemos en la actualidad del “IAssist knee®” (Fig. 3) que no emplea sistema de imágenes, no requiere de inversión adicional y no precisa de incisiones ampliadas. Es un dispositivo intraoperatorio que proporciona alineación coronal y sagital del implante mediante dos “*pods*” de tecnología inalámbrica similar a los *smartphones*, aplicados a las guías de corte tradicional. Asimismo, está en fase de validación la obtención de guías específicas a partir de la reconstrucción 3D de imágenes radiográficas, sistema que puede revolucionar el mercado de las guías personalizadas, ya que evita la necesidad de obtención

de una RM o TC previas, con el consiguiente ahorro económico y de tiempo.

Conclusión

La evaluación crítica de las nuevas tecnologías para la PTR es importante para asegurar que mejora la eficacia clínica o los resultados de los pacientes, de manera que justifique los costes adicionales que supone para el sistema de salud. Hasta la fecha, la navegación y las guías específicas no han podido demostrar ninguna mejora sustancial que justifique el aumento de los costes asociados a esta nueva tecnología^{15,16,55}, pero es una realidad que nadie utiliza hoy día los clásicos móviles y todos empleamos los versátiles *smarphones* y *tablets*, porque consideramos que nos facilitan la vida a pesar de que no entendemos o conocemos todas las posibilidades que nos ofrecen.

Bibliografía

1. Hernández-Vaquero D, Suarez-Vázquez A, Gava R, Noriega-Fernández A. La navegación en la artroplastia primaria de rodilla. En: Monografías AAOS –SECOT. Artroplastia total de rodilla. Madrid: Ed. Panamericana; 2006. p. 39-47.
2. Mosso-Vazquez JL. Cirugía asistida por computadora. Propuesta de una clasificación quirúrgica. *Cir Ciruj* 2003; 71:492-5.
3. Pietrabissa A. Fundamentos y valor clínico de la cirugía asistida por ordenador. *Cir Esp* 2009;85(3):129-31.
4. Marescaux J, Leroy J, Rubino F, Smith M, Vix M, Simone M, y cols. Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications. *Ann Surg* 2002;235(4):487-92.
5. Davies B. A review of robotics in surgery. *Proc Inst Mech Eng H* 2000; 214:129-40.
6. Delp SL, Stulberg SD, Davies B, Picard F, Leitner F. Computer assisted knee replacement. *Clin Orthop Relat Res* 1998; 354:49-56.
7. Ritter MA, Faris PM, Keating EM, Meding JB. Postoperative alignment of total knee replacement. Its effect on survival. *Clin Orthop Relat Res* 1994; 299:153-6.
8. Hadi M, Barlow T, Ahmed I, Dunbar M, McCulloch P and Griffin D. Does malalignment affect patient reported outcomes following total knee arthroplasty: a systematic review of the literature. *SpringerPlus* (2016) 5:1201-13. DOI 10.1186/s40064-016-2790-4.
9. Teter KE, Bregman D, Colwell CW, Jr. The efficacy of intramedullary femoral alignment in total knee replacement. *Clin Orthop Relat Res* 1995; 321:117-21.
10. Caillouette JT, Anzel SH. Fat embolism syndrome following the intramedullary alignment guide in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1990; 251:198-9.
11. Yau WP, Ng TP, Chiu KY. Unusual complication associated with femoral intramedullary alignment guide in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2001; 16(2):247-9.
12. Hernández-Vaquero D, Suárez-Vázquez A, Cervero-Suárez J. Cirugía asistida con ordenador en las artroplastias de rodilla. Situación actual. *Rev Ortop Traumatol* 2006; 50:33-40.
13. Hernandez-Vaquero D. Navigation-assisted minimal invasive total knee arthroplasty in patients with extra-articular femoral deformity. *J Arthroplasty* 2011; 26(1):164.
14. Hernández-Vaquero D, Suárez A, Pérez-Hernández D, García-Sandoval MA, Barrera JL. Cirugía asistida con ordenador en las artroplastias de rodilla. Estudio prospectivo. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* 2003; 47(5):328-35.
15. Rahm S, Camenzind RS, Hingsammer A, Lenz C, Bauer DE, Farshad M and Fucentese SF. Postoperative alignment of TKA in patients with severe preoperative varus or valgus deformity: is there a difference between surgical techniques? *BMC Musculoskelet Disord* 2017; 18:272-9. DOI 10.1186/s12891-017-1628-8.
16. Dyrhovden GS, Fenstad AM, Furnes O, and Gøthesen O. Survivorship and relative risk of revision in computer-navigated versus conventional total knee replacement at 8-year follow-up. A study of 23,684 cases reported to the Norwegian Arthroplasty Register, 2005–2014. *Acta Orthopaedica* 2016; 87 (6): 592-9.
17. Sikorski JM, Blythe MC. Learning the vagaries of computer-assisted total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br* 2005; 87(7):903-10.
18. Nunley RM, Ellison BS, Ruh EL, Williams BM, Foreman K, Ford AD, y cols. Are patient-specific cutting blocks cost-effective for total knee arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res* 2012; 470(3):889-94.
19. Lombardi AV, Jr., Berend KR, Adams JB. Patient-specific approach in total knee arthroplasty. *Orthopedics* 2008; 31(9):927-30.
20. Chandrasekaran S, Molnar RB. Minimally invasive imageless computer-navigated knee surgery: initial results. *J Arthroplasty* 2008; 23(3):441-5.
21. Ng VY, DeClaire JH, Berend KR, Gulick BC, Lombardi AV, Jr. Improved accuracy of alignment with patient-specific positioning guides compared with manual instrumentation in TKA. *Clin Orthop Relat Res* 2012; 470(1):99-107.
22. Noble JW, Jr., Moore CA, Liu N. The value of patient-matched instrumentation in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2012; 27(1):153-5.
23. Boonen B, Schotanus MG, Kort NP. Preliminary experience with the patient-specific templating total knee arthroplasty. *Acta orthopaedica* 2012; 83(4):387-93.
24. Boonen B, Schotanus MG, Kerens B, van der Weegen W, van Drumpt RA, Kort NP. Intra-operative results and radiological outcome of conventional and patient-specific surgery in total knee arthroplasty: a multicentre, randomised controlled trial. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA* 2013; 21(10):2206-12.
25. Nam D, Maher PA, Rebollo B, Nawabi DH, McLawhorn AS, Pearle AD. Patient specific cutting guides versus an imageless, computer-assisted surgery system in total knee arthroplasty. *Knee* 2013; 20(4):263-7.
26. Nunley RM, Ellison BS, Zhu J, Ruh EL, Howell SM, Barrack RL. Do patient-specific guides improve coronal alignment in total knee arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res* 2012; 470(3):895-902.
27. Spencer BA, Mont MA, McGrath MS, Boyd B, Mitrick MF. Initial experience with custom-fit total knee replacement: intra-operative events and long-leg coronal alignment. *Int Orthop* 2009; 33(6):1571-5.
28. Chareancholvanich K, Narkbunnam R, Pornrattanamaneewong C. A prospective randomised controlled study of patient-specific cutting guides compared with conventional instrumentation in total knee replacement. *Bone Joint J* 2013; 95-B(3):354-9.
29. Iorio R, Robb WJ, Healy WL, Berry DJ, Hozack WJ, Kyle RF, y cols. Orthopaedic surgeon workforce and volume assessment for total hip and knee replacement in the United States: preparing for an epidemic. *J Bone Joint Surg Am* 2008; 90(7):1598-605.
30. Fang DM, Ritter MA, Davis KE. Coronal alignment in total knee arthroplasty: just how important is it? *J Arthroplasty* 2009; 24(6):39-43.
31. Kumar PJ, Dorr LD. Severe malalignment and soft-tissue imbalance in total knee arthroplasty. *Am J Knee Surg* 1997; 10(1):36-41.
32. Stulberg SD, Loan P, Sarin V. Computer-assisted navigation in total knee replacement: results of an initial experience in thirty-five patients. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84(2):90-8.
33. Mason JB, Fehring TK, Estok R, Banel D, Fahrback K. Meta-analysis of alignment outcomes in computer-assisted total knee arthroplasty surgery. *J Arthroplasty* 2007; 22(8):1097-106.
34. Bonutti PM, Dethmers D, Ulrich SD, Seyler TM, Mont MA. Computer navigation-assisted versus minimally invasive TKA: benefits and drawbacks. *Clin Orthop Relat Res* 2008; 466(11):2756-62.
35. Novak EJ, Silverstein MD, Bozic KJ. The cost-effectiveness of computer-assisted navigation in total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2007; 89(11):2389-97.
36. Swank ML, Alkire M, Conditt M, Lonner JH. Technology and cost-effectiveness in knee arthroplasty: computer navigation and robotics. *Am J Orthop* 2009; 38(2):32-6.
37. Bonutti P, Dethmers D, Stiehl JB. Case report: femoral shaft fracture resulting from femoral tracker placement in navigated TKA. *Clin Orthop Relat Res* 2008; 466(6):1499-502.
38. Massai F, Conteduca F, Vadala A, Iorio R, Basigliani L, Ferretti A. Tibial stress fracture after computer-navigated total knee arthroplasty. *Journal of orthopaedics and traumatology: official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology.* 2010; 11(2):123-7.
39. Moreland JR, Bassett LW, Hunker GJ. Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity. *J Bone Joint Surg Am* 1987; 69(5):745-9.

40. **Parratte S, Pagnano MW, Trousdale RT, Berry DJ.** Effect of postoperative mechanical axis alignment on the fifteen-year survival of modern, cemented total knee replacements. *J Bone Joint Surg Am* 2010; 92(12):2143-9.
41. **Matziolis G, Adam J, Perka C.** Varus malalignment has no influence on clinical outcome in midterm follow-up after total knee replacement. *Archives of orthopaedic and trauma surgery.* 2010;130(12):1487-91.
42. **Lotke PA, Ecker ML.** Influence of positioning of prosthesis in total knee replacement. *J Bone Joint Surg Am* 1977;59(1):77-9.
43. **Jeffery RS, Morris RW, Denham RA.** Coronal alignment after total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br* 1991;73(5):709-14.
44. **Archibeck MJ, White RE, Jr.** What's new in adult reconstructive knee surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84-A(9):1719-26.
45. **Sikorski JM.** Alignment in total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br* 2008; 90(9):1121-7.
46. **Krackow KA, Pepe CL, Galloway EJ.** A mathematical analysis of the effect of flexion and rotation on apparent varus/valgus alignment at the knee. *Orthopedics* 1990; 13(8):861-8.
47. **Swanson KE, Stocks GW, Warren PD, Hazel MR, Janssen HF.** Does axial limb rotation affect the alignment measurements in deformed limbs? *Clin Orthop Relat Res* 2000; 371:246-52.
48. **Hauschild O, Konstantinidis L, Baumann T, Niemeyer P, Suedkamp NP, Helwig P.** Correlation of radiographic and navigated measurements of TKA limb alignment: a matter of time? *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA.* 2010; 18(10):1317-22.
49. **Choong PF, Dowsey MM, Stoney JD.** Does accurate anatomical alignment result in better function and quality of life? Comparing conventional and computer-assisted total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2009; 24(4):560-9.
50. **Ek ET, Dowsey MM, Tse LF, Riazi A, Love BR, Stoney JD, y cols.** Comparison of functional and radiological outcomes after computer-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a matched-control retrospective study. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2008; 16(2):192-6.
51. **Longstaff LM, Sloan K, Stamp N, Scaddan M, Beaver R.** Good alignment after total knee arthroplasty leads to faster rehabilitation and better function. *J Arthroplasty* 2009; 24(4):570-8.
52. **Chung BJ, Kang YG, Chang CB, Kim SJ, Kim TK.** Differences between sagittal femoral mechanical and distal reference axes should be considered in navigated TKA. *Clin Orthop Relat Res* 2009; 467(9):2403-13.
53. **Han HS, Seong SC, Lee S, Lee MC.** Rotational alignment of femoral components in total knee arthroplasty: nonimage-based navigation system versus conventional technique. *Orthopedics* 2006; 29 S1:48-51.
54. **Jenny JY, and Picard F.** Learning navigation—Learning with navigation. A review. *SICOT J* 2017; 3:39-44.
DOI: 10.1051/sicotj/2017025
55. **Huijbregts HJTAM, Khan RJK, Sorensen E, Fick DP, Haebich S.** Patient-specific instrumentation does not improve radiographic alignment or clinical outcomes after total knee arthroplasty. A meta-analysis. *Acta Orthopaedica* 2016; 87 (4):386-94.