

Cirugía asistida con ordenador en las artroplastias de rodilla. Situación actual

D. Hernández-Vaquero^{a,b}, A. Suárez-Vázquez^a y J. Cervero-Suárez^a

^aHospital San Agustín. Avilés.

^bDepartamento de Cirugía. Facultad de Medicina. Oviedo.

Introducción. La artroplastia de rodilla es la indicación más reconocida dentro de los sistemas de ayuda a la cirugía ortopédica mediante ordenador o navegación quirúrgica. La especial disposición anatómica de la rodilla, el fácil acceso a la estructura ósea para la colocación de emisores, el exigente resultado final en cuanto a la angulación de los componentes, la imprescindible corrección del eje resultante de la extremidad, y desde luego el interés comercial, han propiciado que en los últimos años la navegación quirúrgica en las artroplastias de rodilla haya ocupado un lugar preferente en los nuevos procedimientos de nuestra especialidad.

Situación actual. Son ya numerosos los informes y trabajos que se han publicado sobre esta técnica en la literatura y existe un amplio abanico de artículos que muestran resultados radiográficos comparativos entre artroplastias implantadas con y sin navegación. En todos ellos se muestra de manera un tanto iterativa cómo la navegación aporta seguridad, exactitud y reproducibilidad en los cortes óseos, aunque no se conoce todavía si la mejor posición final de la extremidad y la mejor angulación obtenida entre el implante y el segmento óseo correspondiente van a suponer una mejoría en los resultados clínicos a medio y largo plazo.

Limitaciones de la técnica. Por otro lado la navegación quirúrgica tiene sus limitaciones. La curva de aprendizaje es larga y está sujeta a avances tecnológicos, es necesario un mínimo conocimiento de informática, hay aún poca experiencia en grandes deformidades y cirugía de revisión, la estabilidad ligamentosa final es a veces arbitraria y necesita una dedicación exigente. Las nuevas versiones de los sistemas de navegación, tanto de *hardware* como de *software* van paulatinamente facilitando su utilización y amplían la información que tiene el cirujano sobre la situación preoperatoria de la rodilla, sobre los gestos quirúrgicos necesarios y el re-

sultado final del procedimiento. Este trabajo pretende ofrecer una perspectiva general sobre la situación de la navegación quirúrgica en las artroplastias de rodilla, desde una visión práctica y actual.

Palabras clave: rodilla, artroplastia total de rodilla, navegación, cirugía asistida con ordenador.

Navigated Total Knee Replacement: State of the Art

Introduction. Total knee replacement (TKR) is the procedure that best lends itself to the use of computer navigator assistance in orthopedic surgery. The special anatomy of the knee, the easy access to bony structures for the placement of arrays, the demanding final results as to component angles, the mandatory correction of the final axis of the limb, and, of course, commercial interest, have fostered the use of navigator assisted surgery in TKRs to the extent that it has become the preferred technique amongst the new procedures available in our specialty.

Current situation. Many reports and studies of this technique have been published in the literature and there is a wide range of articles that show comparative X-ray results seen between TKRs carried out with and without navigator assistance. In all studies it is shown, rather repetitively, that navigator assistance provides safety, precision, and reproducibility when performing bone cuts. Although it is not yet known if the better final position of the limb and better angulations between the implant and the corresponding bone will result in better clinical results in the medium and long term.

Limitations of the technique. Navigator assistance during surgery has its limitations. The learning curve is long depends on technological advances, and a minimum knowledge of IT is necessary. There is still very little experience with severe deformities or revision surgery. And final ligament stability is sometimes of the new navigation systems are gradually making this technique easier to use and incre-

Correspondencia:

D. Hernández Vaquero.
Apartado de Correos 341.
33400-Avilés. Oviedo.
Correo electrónico: dhernandezv@meditex.es

asing the knowledge the surgeon has of the preoperative situation of the knee, of the surgical steps that are necessary during the operation and of the final result of the procedure. The aim of this study is to offer a general perspective of the situation of navigator assisted TKR, from a practical and up-to-date viewpoint.

Key words: *knee, total knee replacement, TKR, navigation, computer assisted surgery.*

La colocación de una artroplastia total de rodilla (ATR) forma parte del apartado tecnológico de nuestra especialidad y todo aquello que aporte facilidad y exactitud en las resecciones óseas y reproducir el balance ligamentoso contribuye al éxito de la intervención. Este procedimiento aporta generalmente una disminución del dolor, un aumento de la función y una evidente mejoría en la calidad de vida relacionada con la salud. Unos mejores diseños, la utilización de nuevos materiales e instrumentaciones, la corrección del balance ligamentoso y la posibilidad de reproducir el eje de la extremidad han facilitado unos excelentes resultados y la incorporación definitiva de esta técnica a la práctica clínica habitual.

No obstante, es aún considerable el porcentaje de complicaciones que llega a provocar el fracaso de este procedimiento, oscilando en la literatura entre el 5 y 8%¹. Aunque este fracaso puede obedecer a varios factores, la incorrecta posición u orientación de los componentes es el factor más solidamente relacionado con el desgaste acelerado del polietileno de la bandeja tibial, con el deslizamiento de los componentes, con la presencia de complicaciones del aparato extensor, y en fin, con la degradación funcional de la articulación a medio y corto plazo².

La malposición en valgo, y sobre todo en varo del platinillo tibial, ha sido reportada como la mayor causa de deslizamiento de la ATR^{3,4} y trabajos ya clásicos han mostrado que más del 8% de los cortes femorales son erróneos con la instrumentación mecánica⁵. Diversos factores se han relacionado con la producción de estos errores, desde la inexactitud del corte por defecto de las sierras hasta el lugar de introducción de la guía intramedular femoral o el tamaño del orificio de entrada⁶.

Por otro lado, la anormal rotación de los componentes protésicos produce una influencia nociva en el deslizamiento de la rótula sobre el fémur y es origen de varias complicaciones patelares⁷. Se considera esencial, por tanto, la colocación exacta del componente femoral y tibial siguiendo escrupulosamente el eje mecánico de la extremidad. Este eje mecánico (que sigue una línea desde el centro de la cabeza del fémur hasta el centro de la articulación del tobillo) debe reproducirse al implantar una ATR, lo que se persigue mediante la utilización de instrumentos quirúrgicos que se

apoyan en medidas geométricas estandarizadas o en impresiones subjetivas, sin individualizar las particularidades anatómicas. Tanto la instrumentación intra como extramedular pretenden la colocación correcta de los implantes^{8,9} y, a pesar de los inconvenientes anteriormente referidos, el perfeccionamiento de la instrumentación conseguido en los últimos años, que permite una aproximación a este eje, puede considerarse como el hecho primordial que ha propiciado los mejores resultados a largo plazo obtenidos con las ATR. A pesar de ello deben señalarse las posibles complicaciones que esta instrumentación puede ocasionar; se han descrito embolismos grasos¹⁰ y hasta roturas de las guías dentro del canal endomedular¹¹.

Aun con una dilatada experiencia en la colocación de ATR es imposible reproducir con la instrumentación actual una colocación reglada de los implantes, y en la literatura se aceptan errores entre 2° y 12° en el plano frontal, comunicándose que cerca del 10% de los cortes tibiales son incorrectos¹²⁻¹⁵. Mahalusmiwala et al¹⁶ han revisado retrospectivamente la angulación femorotibial obtenida en 673 ATR; el ángulo femorotibial ideal sólo se había obtenido en el 75% de los casos, sin apreciarse diferencias entre las ATR colocadas por cirujanos expertos o médicos residentes, siendo llamativa la frecuente colocación en varo del componente tibial.

Si existen dificultades para evitar malposiciones en varo-valgo aún son mayores para predecir la correcta rotación de los componentes protésicos, otro factor esencial para una duradera supervivencia de la artroplastia¹⁷. Un reciente trabajo¹⁸ ha mostrado la malrotación de los componentes como una frecuente causa de cirugía de revisión. Al analizar 241 casos de cirugía de revisión se observó que en el 16% fue necesario modificar la rotación del componente femoral. Este defecto es comprensible si consideramos los problemas que existen, incluso para conocer los grados de rotación del fémur en las radiografías convencionales, y que sólo podría percibirse mediante la realización de una tomografía axial de la metafisis distal del fémur¹⁹. De esta manera se llegaría a conocer el llamado eje transepicondileo que es, como ahora veremos, la verdadera guía para colocar adecuadamente la artroplastia en el plano coronal.

Tradicionalmente los instrumentales facilitados por los diseñadores tomaban como referencia la cara anterior de la zona condílea. Más recientemente se ha aconsejado tomar la zona posterior como guía para orientar los cortes anterior y posterior o colocar el componente femoral con una rotación externa constante de 3°. Este aspecto de la colocación de las ATR cobra importancia cuando se conoce que los defectos rotacionales son responsables de complicaciones que afectan al deslizamiento femoro-patelar y a la presencia de dolor en la cara anterior de la rodilla^{7,20} e incluso como antes se refería, son un causa frecuente del fracaso del implante. Existe una amplia literatura aparecida en los últimos años que insiste en la necesidad de encontrar instrumentos



Figura 1. Rigidez de rodilla secundaria a fractura supracondílea de fémur derecho con infección ocurrida hace 35 años. Deformidad y acortamiento femoral (a la izquierda). Navegación para realizar una artrodesis de rodilla en correcto eje mecánico (centro). Obsérvense los orificios de anclaje de los emisores en fémur y tibia, señalados con flechas (a la derecha).

que permitan individualizar la rotación, sobre todo del componente femoral, llamando la atención sobre la necesidad de calcular mejor el eje transepicondíleo en el momento del implante²¹. Este aspecto se complica aún más si consideramos las variaciones anatómicas que suceden en esta zona²² y que no son valoradas por los instrumentos habituales. Por otro lado recientes trabajos²³ insisten en que la rotación de la bandeja tibial debe realizarse a partir del eje epicondíleo, por lo que puede asegurarse que la obtención de este eje, el cual no puede lograrse con la instrumentación estándar, es el principal objetivo para asegurar la correcta colocación rotacional de la artroplastia.

Por tanto, aun reconociendo las ventajas y posibilidades que aporta la instrumentación mecánica en las ATR, ciertamente persisten problemas sin resolver, particularmente referidos a la angulación frontal, lateral y coronal. De otro lado, la exploración ligamentosa y el balance final obtenido se basan en impresiones subjetivas, y su defecto contribuye en buena medida al fracaso de la artroplastia.

La informática pretende facilitar los gestos manuales y mentales mediante la exactitud que ofrece la lógica matemática. A finales de la pasada década se empezaron a utilizar en cirugía ortopédica sistemas de cirugía asistida con ordenador (CAO), también denominada navegación quirúrgica, que ya antes habían sido introducidos en neurocirugía y en menor medida en cirugía ósea^{24,25}. En neurocirugía la CAO persigue localizar y guiar en profundidad un instrumento sin poseer visión directa, facilitando una técnica segura, sin radiaciones y mínimamente invasiva. Ello se

basa en la estereotaxia, definida como la localización de estructuras usando un sistema fijo de coordenadas.

El manejo de la CAO en la patología ósea se ha orientado hacia la localización de estructuras y ejes y hacia la adecuación entre las acciones quirúrgicas deseadas y las realmente acaecidas. Se ha utilizado para realizar osteotomías tridimensionales de tibia, para la colocación de tornillos pediculares en cirugía del raquis, para implantar artroplastias de rodilla y cadera y aisladamente en otras situaciones donde la alineación de una extremidad es esencial pero difícil de obtener (fig. 1). En los últimos 5 años se ha introducido la CAO en la práctica clínica de las ATR, asegurándose en la literatura que la posibilidad de error con la navegación en cuanto a la angulación de los cortes es menor de 1°, ofreciéndose como una alternativa real para evitar errores en la colocación del implante tanto en el eje longitudinal como rotacional. DiGioia²⁶ define la CAO como un sistema capaz de realizar una tarea mejor que la máquina o el hombre aisladamente. La acción sinérgica del ordenador y del cirujano puede aumentar la calidad de la técnica quirúrgica y cuantificar, caracterizar y validar la práctica clínica, en resumen, resolver satisfactoriamente un problema clínico, recogiendo información fácilmente y con un relativo bajo coste. Los sistemas actuales de CAO utilizados en el sistema musculoesquelético pretenden en primer lugar construir una imagen tridimensional a partir de referencias conocidas (localizadores) y en segundo lugar guiar la técnica quirúrgica siguiendo esta imagen virtual previa. Es posible, por tanto, reconocer la zona anatómica sin efectuar exploraciones previas radioscópicas, radiográficas o tomográficas.

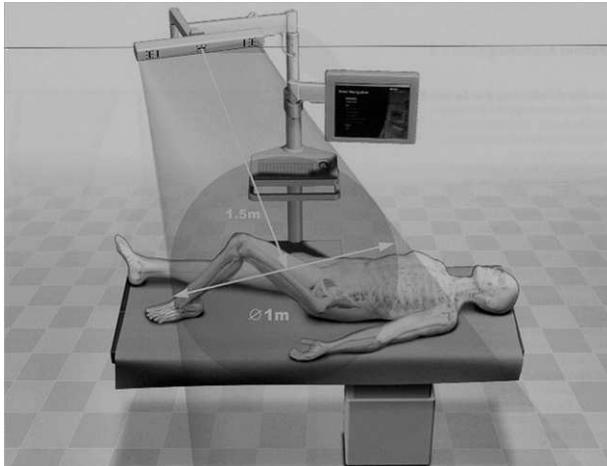


Figura 2. Colocación de la cámara a 1,5 metros de la extremidad.

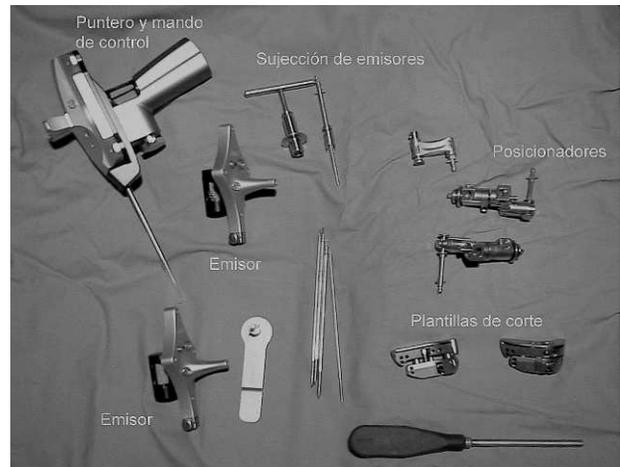


Figura 4. Instrumental para la realización de navegación y plantillas de corte para cirugía poco invasiva (abajo a la derecha).

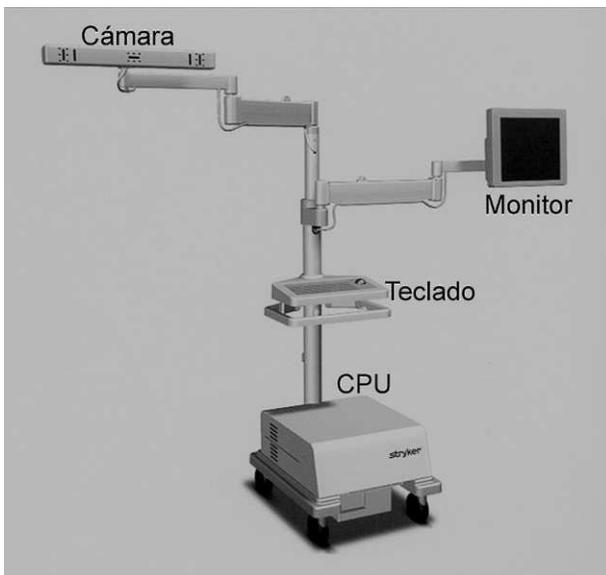


Figura 3. Sistema de navegación inalámbrico Stryker y sus componentes. CPU: unidad central de procesos.

DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

El sistema de navegación que nosotros utilizamos es inalámbrico (fig. 2). Consta de una estación de trabajo (fig. 3) con cámara optoelectrónica (*Charged Coupled Device* [CCD]) que localiza puntos de emisión de luz-diodos con un margen de error de 1 mm (equivalente a un error de orientación de 1°), dos diodos emisores de luz infrarroja (*Light Emitting Diodes* [LED]) montados en brocas que se introducen en la cara lateral de la extremidad distal del fémur y extremidad proximal de la tibia, provistos de una batería de litio y un puntero con emisores infrarrojos que permite la comunicación con el sistema para el desplazamiento

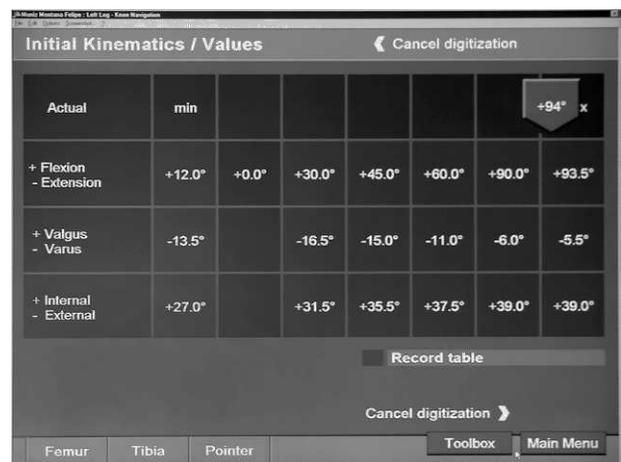


Figura 5. Evaluación cinemática y amplitud de la flexo-extensión preoperatoria.

por el menú de la pantalla y para marcar los puntos de referencia solicitados por el programa informático (fig. 4). La información es procesada en un ordenador soportado en la columna del sistema y conectado a la cámara electrónica. El programa informático está estructurado en entorno Windows y ofrece una serie de menús donde consta la identificación del paciente, lado, fecha de intervención, registro y calibrado del instrumental, captación de las referencias anatómicas, digitalización de la superficie de los cóndilos femorales y mesetas tibiales y valoración de la cinemática inicial de la rodilla (fig. 5). En sucesivas pantallas aparece la situación ideal de los cortes y la que realmente se está realizando (fig. 6), debiendo coincidir el eje teórico y el verdadero.

La intervención comienza colocando los emisores en la zona distal del fémur y proximal de la tibia y hallando el centro de rotación de la cabeza femoral mediante movi-



Figura 6. Pantalla que muestra el corte femoral distal.

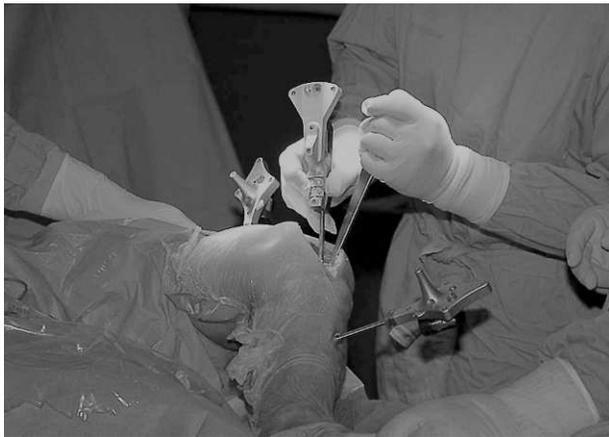


Figura 7. Recogida de contorno de las superficies óseas con el puntero.

mientos circunferenciales de la cadera. Se digitalizan las superficies de la cara anterior de la metáfisis femoral distal, de los cóndilos femorales y de las mesetas tibiales (fig. 7) y se toman referencias en los dos epicóndilos femorales y en los dos maleolos del tobillo, así como en el centro de la rodilla y del tobillo; igualmente se realiza una valoración de la cinemática de la rodilla. El sistema informa sobre la deformidad ósea y articular previa, así como la situación ligamentosa. Cuando ha finalizado esta valoración preoperatoria se realizan los cortes siguiendo las imágenes orientativas que aparecen en el monitor y que indican cuál es la posición correcta de aquéllos según la imagen virtual previamente formalizada. Al acabar la intervención el programa realiza una comprobación de la posición de los componentes y emite un informe con las resecciones óseas realizadas, el eje frontal y coronal de la artroplastia en relación con la extremidad, la movilidad final conseguida y el balance ligamentoso residual. Toda esta información se almacena en el programa y puede imprimirse en un informe final. En cualquier



Figura 8. Comprobación del corte realizado.

etapa de la técnica puede comprobarse la exactitud de los cortes (fig. 8) y repetir los gestos que se consideren necesarios. Por tanto, el sistema permite una valoración preoperatoria de las deformidades y del entorno ligamentoso, una evaluación de la técnica intraoperatoriamente y una estimación de la situación final, tanto en cuanto al grosor y orientación de los cortes realizados como a la movilidad final y estado de las partes blandas.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA NAVEGACIÓN EN LAS ARTROPLASTIAS TOTALES DE RODILLA

Las aplicaciones informáticas en las artroplastias de rodilla pueden clasificarse en tres categorías: sistemas que realizan una planificación preoperatoria basada en tomografía axial computarizada (TAC) o en radioscopia 2D o 3D y que guían la colocación del implante (cirugía guiada por imágenes), instrumentos integrados informáticamente que ayudan a medir, localizar estructuras axiales y alinear componentes y por fin sistemas robóticos que realizan de manera autónoma las resecciones óseas^{27,28}. El sistema de navegación utilizado por nosotros, y el de la mayoría de los navegadores comercializados actualmente, se encuadra dentro del segundo tipo de aplicaciones: supera las ventajas de una simple planificación preoperatoria, pero no alcanza la perfección de la robótica que, por otra parte, aún está en período experimental. No existen contraindicaciones para la utilización de la navegación quirúrgica. Sin embargo, para obtener virtualmente el centro de rotación de la cadera es necesaria, en el sistema empleado por nosotros, la movilización circular de la misma; si existen limitaciones en este sentido, como puede suceder en la coxartrosis, el sistema descrito no puede utilizarse, pues obtendría de manera errónea el centro de la cabeza. Hemos tenido algunas dificultades para la colocación de los emisores, sobre todo en el modelo antiguo que

precisaba la colocación de un emisor en la cresta ilíaca, dificultades que consideramos más bien relacionadas con la curva de aprendizaje que con defectos propios del sistema. El sistema que utilizamos actualmente no necesita la colocación del emisor en cresta ilíaca, reduciendo el tiempo quirúrgico y evitando posibles complicaciones a este nivel.

La navegación además de asegurar la idoneidad de los cortes y el equilibrio ligamentoso aporta otras ventajas. La medición de los ejes de la extremidad y de su angulación, con respecto al componente artroplástico, es difícil mediante la realización de radiografías. Es inevitable utilizar placas de cuerpo entero, ya que la técnica está sujeta a errores subjetivos y los cambios en la magnificación pueden ofrecer cifras equívocas. La utilización de la navegación hace innecesaria la evaluación radiográfica postoperatoria inmediata del eje de la extremidad, que por otra parte ha sido cuestionada²⁹. En efecto, en el informe final que emite el sistema aparece la angulación y el eje final obtenido. La CAO, como se ha escrito anteriormente, permite hallar el eje transepicondileo que guía la colocación de los componentes y que tanta importancia ha cobrado en los últimos años. Estudios recientes han demostrado que las ventajas teóricas de la CAO acerca de la rotación protésica se ven confirmadas en estudios clínicos^{30,31}.

La literatura sobre la CAO en las artroplastias de rodilla es ya abundante y se revisará en otro trabajo de esta revista. Delp et al¹ realizaron un estudio previo para analizar los resultados del implante de artroplastias de rodilla con y sin navegador. Puede considerarse como el primer trabajo sobre estudios comparativos entre cirugía con navegador y con instrumentación mecánica en ATR. Después de la comprobación del sistema en cadáveres, compararon retrospectivamente los resultados de 4 casos donde se empleó un sistema de navegación con 65 pacientes en los que se utilizó la técnica quirúrgica estándar. El tiempo de isquemia fue superior en 13 minutos en el grupo con navegador, pero este procedimiento permitió la colocación de la artroplastia con mayor exactitud: el ángulo femorotibial (AFT) medio fue de 181° , el ángulo femoral (AF) (formado entre el eje del fémur y el componente femoral) de $88,2^\circ$ y el ángulo tibial (AT) (formado entre el eje tibial y la bandeja tibial) de $91,5^\circ$.

Al comienzo de 2000 se publicaron tres trabajos que pueden considerarse también pioneros en los estudios comparativos entre grupos de ATR implantadas con y sin navegación. Mielke et al³² analizaron las diferencias entre un grupo de 30 pacientes donde se colocó una ATR con técnica estándar y otros 30 donde se utilizó un sistema de CAO. Mediante un estudio radiográfico a los tres meses de la intervención estudiaron los AF y AT en proyección frontal y lateral y el AFT. En el grupo con navegador las mediciones radiográficas fueron claramente superiores al grupo control, aunque la diferencia sólo fue estadísticamente significativa en el ángulo tibial en proyección lateral. Tampoco recogieron complicaciones derivadas del uso de la CAO y

el tiempo adicional de quirófano osciló entre 10 y 15 minutos.

Jenny y Boeri³³ publicaron un estudio comparativo entre 40 ATR implantadas mediante un sistema de navegación y otras 40 del mismo modelo intervenidas con técnica manual. Realizaron un estudio radiográfico de los ya mencionados AF, AT y AFT. Todos los parámetros estudiados mostraron diferencias a favor del grupo con CAO. Un AFT óptimo ($180^\circ \pm 3^\circ$) se obtuvo en 33 casos del grupo de estudio y 31 del grupo control. Los autores refieren que globalmente 26 casos del primer grupo y 12 del segundo obtuvieron posiciones óptimas en la colocación de la artroplastia, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$).

Saragaglia et al³⁴ publicaron también los resultados de estudios comparativos entre ATR implantadas con y sin navegación. Estudiaron 25 pacientes intervenidos con cirugía convencional y 25 en los que se utilizó navegación quirúrgica mediante un sistema de navegación con cables. Los dos grupos eran comparables en todos los parámetros preoperatorios y el objetivo ideal era conseguir un AFT de $180 \pm 3^\circ$ y un AF y AT de 90° . En el grupo con navegador el tiempo quirúrgico fue superior en 32 minutos, sin que se recogieran complicaciones secundarias a la utilización del sistema. El AFT fue $181,2 \pm 2,72^\circ$ en el grupo intervenido con técnica manual y $179,04 \pm 2,53^\circ$ en el grupo con CAO, siendo la diferencia significativa. El AFT considerado ideal se obtuvo en el 75% de los pacientes del grupo control y en el 84% del grupo con navegador. Tanto el AF como el AT se aproximaron más a la angulación ideal cuando se usó la navegación, aunque estadísticamente la diferencia fue significativa sólo en el AF.

Estos trabajos y otros muchos que han ido apareciendo en los últimos años se realizaron utilizando un único modelo comercial de navegación. Un reciente trabajo multicéntrico propiciado por la Sociedad Española de Cirugía de la Rodilla (SEROD)³⁵ ha demostrado la utilidad de la navegación al comparar dos grupos de pacientes. En el grupo de CAO se utilizaron tres diferentes sistemas de navegación. La situación previa de los pacientes en cuanto a la edad, peso, etiología, perímetro epicondileo, longitud del tendón rotuliano y deformidad de la rodilla fue similar en los dos grupos. La obtención de un eje normal femoro-tibial fue más frecuente en el grupo con navegador frente al grupo manual (48,1% y 30%, respectivamente). La presencia de un eje en varo, sin embargo, fue más frecuente en el grupo manual (42,2% y 26,9% respectivamente). Al analizar el eje definitivo radiográfico postoperatorio y considerando como 180° el resultado del eje normal, se apreció que los casos de cirugía con instrumentación manual se desviaron $1,19^\circ$ más que los realizados con navegación, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,001$). Los hallazgos de este estudio, que aportan la novedad de haber sido realizados utilizando diferentes sistemas de CAO, apoyan aún más las ventajas de este tipo de aplicación informática a la cirugía artroplástica de la rodilla.



Figura 9. Cirugía poco invasiva para artroplastia de rodilla con ayuda de navegación.

En resumen, son muchas las ventajas que aporta un sistema de CAO inalámbrico como el utilizado por nosotros: posibilidad de referenciar el eje transepicondileo, seguridad en la realización de los cortes y resecciones óseas, hallazgo del eje mecánico verdadero, ausencia de radiaciones, innecesario requerimiento de estudios preoperatorios, posibilidad de conocer la cinemática y el balance ligamentoso de la rodilla, etc., al mismo tiempo que evita los inconvenientes de la conexión mediante cables³⁶. Además, permite introducir un control de calidad en la cirugía artroplástica de la rodilla, reconocer los errores en los que previamente se incurría y que los jóvenes cirujanos mejoren la técnica quirúrgica.

La cirugía mínimamente invasiva es una técnica de gran actualidad y que forma parte del concepto de pequeñas incisiones cutáneas y menor daño a las estructuras musculares y ligamentosas, común a una buena parte de las intervenciones en nuestra especialidad. La navegación en ATR facilita la realización de este procedimiento, ya que aporta una visión espacial y seguridad en los cortes que aumenta su utilidad (fig. 9). Es posible que el «patrón oro» de la cirugía artroplástica de la rodilla en los próximos años sea la asociación de ambas técnicas, disminuyendo por una parte la lesión de las partes blandas y por otra proporcionando una mejor visión de las estructuras alteradas.

A pesar de nuestro respaldo a la utilización de la CAO en las ATR no creemos que evite la competencia y la necesaria pericia en la técnica quirúrgica. No debe considerarse la navegación quirúrgica como una técnica que sustituye al cirujano; siempre será preferible un buen cirujano que no disponga de navegación que un mal cirujano con navegación.

Se considera que la CAO en cirugía ortopédica tendrá un inmenso desarrollo en los próximos años, y es posible que en el futuro sea una exigencia formal de los pacientes al cirujano. Las grandes deformidades y la cirugía de revisión

son indicaciones especiales de la CAO en las que se comienza a tener experiencia. La conjunción de clínicos, ingenieros, informáticos e industria definirán el porvenir de la CAO, que puede ya considerarse como una técnica validada y que aporta ventajas al implante convencional de las ATR.

BIBLIOGRAFÍA

1. Delp SL, Stulberg SD, Davies B, Picard F, Leitner F. Computer assisted knee replacement. *Clin Orthop.* 1998; 354:49-56.
2. Ritter MA, Faris PM, Keating EM, Meding JB. Postoperative alignment of total knee replacement. Its effect on survival. *Clin Orthop* 1994;299:153-6.
3. Bargren JH, Blaha JD, Freeman MA. Alignment in total knee arthroplasty. Correlated biomechanical and clinical observations. *Clin Orthop.* 1983;173:178-83.
4. Moreland JR, Bassett LW, Hanker GJ. Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69(A):745-9.
5. Teter KE, Bregman D, Colwell CW. The efficacy of intramedullary femoral alignment in total knee replacement. *Clin Orthop.* 1995;321:117-21.
6. Nuño-Siebrecht N, Tanzer T, Bobyn JD. Potential errors in axial alignment using intramedullary instrumentation for total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2000;15:228-30.
7. Barrack RL, Schrader T, Bertot AJ, Wolfe MW, Myers L. Component rotation and anterior knee pain after total knee arthroplasty. *Clin Orthop.* 2001;392:46-55.
8. Maestro A, Harwin SF, García-Sandoval MG, Hernández-Vaquero D, Murcia A. Influence of intramedullary versus extramedullary alignment guides on final total knee arthroplasty component position: a radiographic analysis. *J Arthroplasty.* 1998;13:552-8.
9. Hernández Vaquero D, Maestro Fernández A, Murcia Mazón A, García Sandoval MA. La alineación tibial en las artroplastias de rodilla. ¿Instrumentación intra o extramedular?. *Rev Ortop Traumatol.* 1998;42:335-40.
10. Caillouette JT, Anzel SH. Fat embolism syndrome following the intramedullary alignment guide in total knee arthroplasty. *Clin Orthop.* 1990;251:198-9.
11. Yau WP, Ng TP, Chiu Y. Unusual complication associated with femoral intramedullar alignment guide in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2001;16:247-9.
12. Plaskos C, Hodgson AJ, Inkpen K, McGraw RW. Bone cutting errors in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2002;17: 698-705.
13. Novotny MH, González ML, Amirouche Y, Li C. Geometric analysis of potential error in using femoral intramedullary guides in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2001;16: 641-7.
14. Laskin RS. Instrumentation pitfalls: You just can't go on autopilot. *J Arthroplasty.* 2003;18(Supl 1):18-22.
15. Mihalko WM, Boyle J, Clark LD, Krackow KA. The variability of Intramedullary alignment of the femoral component during total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2005;20:25-8.
16. Mahalusmiwala J, Bankes MJK, Nicolai O, Aldam CH, Allen PW. The effect of surgeon experience on component positioning in 673 press fit condylar posterior-sacrificing total knee arthroplasties. *J Arthroplasty.* 2001;16:635-40.
17. Miller MC, Berger RA, Petrella AJ, Karmas A, Rubash HE. Optimizing femoral component rotation in total knee arthroplasty. *Clin Orthop.* 2001;392:38-45.

18. Cameron HU. A Comedy of Errors. The Bad Knee. *J Arthroplasty*. 2005;20:18-22.
19. Jazrawi LM, Birdzell L, Kummer FJ, Di Cesare PE. The Accuracy of Computed Tomography for Determining Femoral and Tibial Total Knee Arthroplasty Component Rotation. *J Arthroplasty*. 2000;15:761-6.
20. Masao A, Shigeshi M, Shunji N, Akio N, Taiyo A, Chiaki H. Variability of Extraarticular Tibial Rotation References for Total Knee Arthroplasty. *Clin Orthop*. 2005; 436:172-6.
21. Boldt JG. Femoral component Alignment in TKA En: Stiehl JB, Konermann WH, Haaker RG, editores. *Navigation and Robotics in total joint and Spine Surgery*. Berlin: Springer-Verlag; 2004. p. 189-96.
22. Nagamine R, Miura H, Bravo CV, Urabe K, Matsuda S, Miyayoshi K, et al. Anatomic variations should be considered in total knee arthroplasty. *J Orthop Sci*. 2000;5:232-7.
23. Incavo SJ, Coughlin KM, Pappas C, Beynon BC. Anatomic Rotational Relationships of the proximal tibia, distal femur and patella. *J Arthroplasty*. 2003;18:643-8.
24. Krakow KA, Bayers-Thering M, Phillips MJ, Mihalko WM. A new technique for determining proper mechanical axis alignment during total knee arthroplasty: progress toward computer-assisted TKA. *Orthopedics*. 1999;22: 698-702.
25. Martelli M, Marcacci M, Nofrini L, Palombara LA, Malvisi A, Iacono F. Computer – and robot-assisted total knee replacement: analysis of a new surgical procedure. *Ann Biomed Eng*. 2000;28:1146-53.
26. DiGioia III AM. Editorial Comment. *Clin Orthop*. 1998; 354:2-4.
27. Stulberg SD. CT-Free-Based Navigation Systems. En: Stiehl JB, Konermann WH, Haaker RG, editores. *Navigation and Robotics in total joint and Spine Surgery*. Berlin: Springer-Verlag; 2004. p. 24-38.
28. Börner M, Wiesel U, Ditzen W. Clinical Experiences with ROBODOC and the Duracon Total Knee. En: Stiehl JB, Konermann WH, Haaker RG, editores. *Navigation and Robotics in total joint and Spine Surgery*. Berlin: Springer-Verlag; 2004. p. 362-6.
29. Glasser D, Lotke P. Cost-effectiveness of immediate postoperative radiographs after uncomplicated total knee arthroplasty. A retrospective and prospective study of 750 patients. *J Arthroplasty*. 2000;15:475-8.
30. Stöckl B, Nogler M, Rosiek R, Fischer M, Krismer M, Kessler O. Navigation Improves Accuracy of Rotational Alignment in Total Knee Arthroplasty. *Clin Orthop*. 2004; 426:180-6.
31. Seral B, Gómez R, Hualde A, Seral F. Análisis de la rotación del implante femoral en prótesis de rodilla con navegación. *Rev Ortop Traumatol*. 2005;49:183-6.
32. Mielke RJ, Clemens U, Jens JH, Kershally S. Navigation in knee endoprosthesis implantation. Preliminary experience and prospective comparative study with conventional implantation technique. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 2001;139:109-16.
33. Jenny JY, Boeri C. Computer-assisted implantation of a total knee arthroplasty: a case controlled study in comparison with classical instrumentation. *Rev Chir Orthop*. 2001;87:645-52.
34. Saragaglia D, Picard F, Chaussard C, Montbarbon E, Leitner F, Cinquin P. Mise en place des protheses totales du genou assisté par ordinateur: comparaison avec la technique conventionnelle. *Rev Chir Orthop* 2001;87:18-28.
35. Maculé-Beneyto F, Hernández-Vaquero D, Segur-Vilalta JM, Colomina-Rodríguez R, Hinarejos-Gómez P, García-Forcada I, et al. Navigation in total knee arthroplasty. A multicenter study. *Int Orhop*. [En prensa].
36. Hinarejos Gómez P, Monllau López JC, Ballester Soleda J. Cirugía de rodilla asistida por ordenador. *Cursos de Actualización SECOT*. Bilbao: octubre; 2001. p. 37.

Conflicto de intereses. Los autores no han recibido ayuda económica alguna para la realización de este trabajo. Tampoco han firmado ningún acuerdo por el que vayan a recibir beneficios u honorarios por parte de alguna entidad comercial. Por otra parte, ninguna entidad comercial ha pagado ni pagará a fundaciones, instituciones educativas u otras organizaciones sin ánimo de lucro a las que estén afiliados.