

Cirugía asistida con ordenador en las artroplastias de rodilla. Estudio prospectivo

D. Hernández-Vaquero, A. Suárez, D. Pérez-Hernández, M. A. García-Sandoval y J. L. Barrera

Departamento de Cirugía. Facultad de Medicina. Oviedo. Hospital San Agustín (Asociado a la Universidad de Oviedo). Avilés.

Objetivo. Estudiar la utilidad de un sistema inalámbrico de cirugía asistida por ordenador (navegación quirúrgica) para la implantación de prótesis de rodilla.

Material y método. Estudio prospectivo y aleatorizado. Se han analizado 40 pacientes a los que se les implantó una prótesis de rodilla: en un grupo de 20 pacientes se utilizó un sistema de navegación inalámbrico y en otro, también de 20 pacientes, la técnica estándar con alineación instrumentada manual. Sobre una tomografía computarizada de la extremidad, tomada en el período postoperatorio inmediato, se midió el ángulo femoral (formado entre el eje mecánico del fémur y el componente femoral), el ángulo tibial (formado entre el eje mecánico tibial y la plataforma tibial) y el ángulo femorotibial (formado entre los ejes mecánicos femoral y tibial).

Resultados. En el grupo sin navegador el ángulo femoral osciló entre 90° y 94°, con una media de 91,7°; el ángulo tibial se situó entre 87° y 95°, con una media de 90,2°; y el ángulo femorotibial varió de 172° a 180°, con una media de 175,9°, lo que indica un ligero predominio de la desviación en varo del eje mecánico de la extremidad. En el grupo con navegador el ángulo femoral se situó entre 87° y 93°, con un promedio de 90,2°; el ángulo tibial entre 85° y 93°, con una media de 89,6°; y el ángulo femorotibial entre 177° y 182° con una media de 179,2°. La diferencia fue significativa para el ángulo femoral ($p = 0,001$), siendo muy significativa en el ángulo femorotibial ($p < 0,001$). Todos los casos pertenecientes al grupo con navegador mostraron un ángulo femorotibial considerado como ideal ($180^\circ \pm 3^\circ$), mientras que solo ocurrió en 9 de los pacientes intervenidos con la técnica estándar ($p < 0,001$).

Conclusiones. La utilización de un sistema de navegación quirúrgica inalámbrico para la implantación de las prótesis de rodilla favorece la colocación del implante en una posición más cercana al eje mecánico ideal.

Palabras clave: artroplastia de rodilla, alineación de componentes, navegación quirúrgica.

Computer-assisted surgery in knee arthroplasty. Prospective study

Objective. To study the usefulness of wireless computer-assisted surgery (surgical navigation) in the implantation of knee prostheses.

Materials and methods. Prospective randomized trial. An analysis was made of 40 patients who underwent knee arthroplasty: in a group of 20 patients a wireless navigation system was used and in the other group of 20 patients, a conventional system with manual instrumental alignment. On a computed tomography of the limb obtained in the immediate postoperative period, measurements were made of the femoral angle (formed by the mechanical axis of the femur and femoral component), tibial angle (between the tibial mechanical axis and the tibial platform), and femoro-tibial angle (between the femoral and tibial mechanical axes).

Results. In the patients that underwent surgery without navigator guidance, the femoral angle ranged from 90° to 94°, mean 91.7°. The tibial angle was 87° to 95°, mean 90.2°. The femoro-tibial angle ranged from 172° to 180°, mean 175.9°, indicating a slight predominance of varus deviation of the mechanical axis of the limb. In the patients that underwent navigator-assisted surgery, the femoral angle ranged from 87° to 93°, mean 90.2°. The tibial angle ranged from 85° to 93°, mean 89.6°. The femoro-tibial angle ranged from 177° to 182°, mean 179.2°. The difference was significant for the femoral angle ($p = 0.001$) and very significant for the femoro-tibial angle ($p < 0.001$). All the patients in the navigator-assisted surgery group showed what is considered an ideal femoral angle ($180^\circ \pm 3^\circ$), which only occurred in 9 patients who underwent the conventional technique ($p < 0.001$).

Conclusions. The use of a wireless surgical navigation system for the implantation of knee prostheses facilitates implant positioning close to the ideal mechanical axis.

Key words: knee arthroplasty, component alignment, surgical navigation.

Correspondencia:

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

Recibido: junio de 2002.

Aceptado: enero de 2003.

La artroplastia total de rodilla (ATR) es una intervención que aporta habitualmente una disminución del dolor, un aumento de la función y una evidente mejoría en la calidad de vida relacionada con la salud. Los excelentes resultados que se consiguen con los implantes actuales se deben a la consecución de mejores diseños, mejores materiales, mejores instrumentaciones y a la posibilidad de reproducir los ejes de la extremidad¹.

Sin embargo, es considerable el porcentaje de complicaciones que llegan a provocar el fracaso de este procedimiento, oscilando en la literatura entre el 5% y el 8%². Aunque este fracaso puede obedecer a varios factores, la incorrecta posición u orientación de los componentes es el factor más relacionado con el desgaste acelerado del polietileno de la bandeja tibial, con el aflojamiento de los componentes y con la presencia de complicaciones del aparato extensor.

La informática, como en tantos aspectos de la vida diaria, 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 otras disciplinas.

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 y para implantar artroplastias de rodilla y cadera. Después de superar investigaciones de laboratorio, en los últimos tres años se ha introducido la CAO en la práctica clínica de las ATR, asegurándose en la literatura que la posibilidad de error en cuanto a la angulación de los cortes es menor de 1°³, ofreciéndose como una alternativa real para evitar errores en la colocación del implante, tanto en el eje longitudinal como rotacional. La CAO en el sistema musculoesquelético pretende, 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.

Hasta ahora los sistemas de navegación en ATR más utilizados y sobre los que se tiene algún apoyo bibliográfico transmiten mediante cables la información recogida por los localizadores hasta el programa informático. Recientemente se ha comercializado un sistema inalámbrico que hemos comenzado a utilizar en el año 2001 y que aporta comodidad y sencillez a la técnica de navegación. El objetivo de este trabajo ha sido analizar los resultados y validar este sistema de CAO en la implantación de ATR mediante el diseño de un estudio ciego simple, prospectivo y aleatorizado.

MATERIAL Y MÉTODO

El estudio comenzó en noviembre de 2001 y entre esos meses y abril de 2002 se implantaron 40 ATR del mismo modelo y por el mismo equipo quirúrgico, número de casos que forman la serie que hemos analizado. Los pacientes fueron asignados aleatoriamente a dos grupos: en uno se implantó una ATR de manera convencional, con la instrumentación estándar que proporcionaba la casa comercial, y en otro se implantó una artroplastia similar mediante el sistema de navegación inalámbrico *Stryker Navigation System* (Stryker-Leibinger, Freiburg, Alemania). Los criterios de inclusión para ambos grupos fueron:

- 1) Pacientes con enfermedad degenerativa articular de grado III o IV de Ahlback⁴.
- 2) Ángulo femorotibial menor de 10° (deformidad en varo o valgo) comprobado con radiografías estándar realizadas en bipedestación.
- 3) Cirugía primaria sin utilización de cuñas o extensiones de revisión.
- 4) Implante de una misma artroplastia conservando el ligamento cruzado posterior, con cementación en todos los componentes.
- 5) Ausencia de complicaciones técnicas intraoperatorias.

De la serie original hubo que excluir a 4 pacientes: dos porque les fueron colocadas artroplastias con plataforma móvil debido a su juventud, otro por dificultades en la colocación de los sensores necesarios para la navegación quirúrgica y otro que presentaba una coxartrosis con restricción de la movilidad de la cadera. La recogida de pacientes se continuó hasta completar los 40 casos ya referidos. En el resto de los pacientes no se observó patología articular asociada en cadera y/o tobillo homolateral. Los dos grupos fueron semejantes en cuanto a la edad, sexo y peso. En todos los pacientes se utilizó un juego de plantillas preoperatorias transparentes para conocer el tamaño adecuado de los componentes. La artroplastia implantada fue siempre el modelo Interax (Stryker-Howmedica), y en todos los casos se empleó patela protésica. Tanto la técnica intraoperatoria, excluyendo el uso de la navegación, como la pauta postoperatoria fueron similares. La intervención se realizó bajo isquemia mediante manguito de hemostasia y se practicó balance de partes blandas cuando se comprobó algún grado de inestabilidad a juicio del cirujano. Los pacientes entraron en uno u otro grupo de manera aleatoria, sin que el cirujano supiera previamente cuál era el grupo asignado a cada paciente hasta el momento de la intervención.

En el grupo intervenido con la técnica estándar se usaron guías de alineación intramedular femoral y extramedular tibial. La colocación del componente femoral se realizó sistemáticamente con 3° de rotación externa según la plantilla diseñada por los fabricantes, y todos los cortes, tanto femorales como tibiales o patelares, se realizaron si-

guiendo las recomendaciones de los diseñadores de la artroplastia.

En el grupo con navegación se utilizó un sistema inalámbrico que consta de una estación de trabajo con cámara optoelectrónica que localiza puntos de emisión de luz-diodos con un margen de error de 1 mm (equivalente a un error de orientación de 1°) (fig. 1), tres diodos emisores de luz infrarroja montados en brocas que se introducen en cresta ilíaca, extremidad distal del fémur y extremidad proximal de la tibia, provistos de una batería de litio que no necesita conexión con cables hasta la cámara. Un puntero con emisores infrarrojos y tres botones permiten la comunicación con el sistema para el desplazamiento por el menú de la pantalla, y para marcar los puntos de referencia solicitados por el programa informático. La información es procesada en un ordenador portátil 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. En sucesivas pantallas aparece la situación ideal de los cortes y la que realmente se está realizando, debiendo coincidir el eje teórico y el verdadero.

La intervención comienza hallando el centro de rotación de la cabeza femoral y después se colocan los localizadores en la zona distal del fémur y proximal de la tibia (fig. 2). Se digitalizan las superficies de los cóndilos femorales y de las mesetas tibiales y se toman referencias en los dos epicondilos 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 indicando el sistema la deformidad ósea y articular previa, así como la situación ligamentosa (fig. 3). Cuando ha finalizado esta va-



Figura 1. Cámara optoelectrónica, monitor y brazo articulado.



Figura 2. Localizadores-diodos insertados en la zona distal del fémur y proximal de la tibia.

Initial Kinematics : Left Leg										
Values										
		Actual	min	0°	30°	45°	60°	90°	max	
Flexion	Extension	+13.0°	-9.7°						+92.1°	
Valgus	Varus	-1.5°	-3.7°	-4.0°	-2.6°	-2.7°	-2.3°	-1.8°	-2.0°	
Internal	External	+24.8°	-0.8°	-0.3°	-4.9°	-6.2°	-2.0°	+3.3°	+3.4°	
Compression	Distraction	-8.3	-10.0	-7.5	-3.2	-4.5	-5.2	-5.0	-5.4	
Medial	Lateral	-0.8	-2.5	-6.4	-4.2	-3.2	-1.4	+1.0	+1.3	
Anterior	Posterior	-12.6	-13.5	-14.8	-18.0	-16.3	-19.2	-23.8	-24.4	
Frozen Columns :										
		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	
Femur Tibia Pointer										
										Exit

Figura 3. Pantalla de recogida de datos previos. Cinemática de la rodilla.

loración preoperatoria se realizan los cortes siguiendo las imágenes orientativas que aparecen en el monitor (fig. 4) 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, la angulación y rotación de la artroplastia, 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 etapa de la técnica puede comprobarse la exactitud de los cortes 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.

En el período postoperatorio inmediato a todos los pacientes se les realizó un estudio mediante tomografía axial computarizada (TAC) de la extremidad intervenida en carga bipodal. Para ello se utilizó un tomógrafo Siemens, modelo *Somaton Volume Acces* con adquisición volumétrica o secuencial y programa para topografía digital que permite exportar imágenes a través de una red interna o externa. Se obtuvieron imágenes digitales empleando la técnica llamada de *surview* o *scanview*, abarcando toda la extremidad incluyendo la cabeza femoral y el tobillo. Se utilizó un sistema de posicionamiento para la extremidad inferior con el objetivo de mantener la extremidad en rotación neutra. Se obtuvo exclusivamente la imagen anteroposterior de la extremidad, pues la lateral fue imposible de conseguir con una aceptable calidad en algunos pacientes, al tener que permanecer de pie. En cada caso se evaluaron tres ángulos (fig. 5):



Figura 4. Imágenes obtenidas del monitor, mostrando la orientación del corte distal femoral (angulación frontal, espesor de la resección ósea y rotación) y del corte proximal tibial (angulación, espesor y rotación).



Figura 5. Mediciones realizadas sobre TAC de la extremidad inferior.

ángulo femoral (AF) definido por el formado entre la perpendicular al eje del componente femoral y el eje mecánico del fémur, entendiendo como tal una línea que transcurre desde el centro de la cabeza femoral hasta el centro de la rodilla; ángulo tibial (AT) formado por la perpendicular al eje de la plataforma tibial y por el eje anatómico de la tibia y ángulo femorotibial (AFT), formado por la unión de los ejes mecánicos del fémur y tibia. El AF y el AT muestran la calidad en la colocación de los componentes que teóricamente deben formar un ángulo de 90° con el eje mecánico del segmento óseo. El AFT es el exponente final de la colocación de la artroplastia y debe aproximarse a los 180° . El médico radiólogo que realizó la TAC y que emitió el informe con

las angulaciones obtenidas no conocía a qué grupo pertenecía el paciente examinado. Los datos fueron almacenados en una base de datos (Access) y tratados estadísticamente mediante el programa SPSS.

RESULTADOS

El tiempo medio de intervención en el grupo con técnica estándar fue de 73 minutos (límites: 62-89) y en el grupo con navegación fue de 91 (límites: 83-121). En los primeros 5 casos del grupo con navegación la duración media fue de 117 minutos pero en los últimos 5 descendió a 86, evidencia de la mayor experiencia con la técnica. No se registraron complicaciones intraoperatorias ni postoperatorias inmediatas en ningún paciente, y tanto los controles de hemoglobina como la aspiración de los redones no mostraron diferencias entre los dos grupos. Para facilitar la recogida y el tratamiento estadístico de los datos se consideró la angulación en varo como negativa y en valgo como positiva. El promedio del AF postoperatorio de toda la serie fue de 91° (desviación estándar [DE]:1,52). La angulación media del AT fue de 89,9° (DE:1,84) y la del AFT de 177,6° (DE:2,39).

En el grupo sin navegador el AF osciló entre 90° y 94° con una media de 91,7° (DE:1,37); el AT se situó entre 87° y 95° con una media de 90,2° (DE:1,97) y el AFT varió de 172° a 180°, con una media de 175,9° (DE:2,06), lo que indica un ligero predominio de la desviación en varo del eje mecánico de la extremidad (tabla 1).

En el grupo con navegador el AF se situó entre 87° y 93°, con un promedio de 90,2° (DE:1,29), el AT entre 85° y 93°, con una media de 89,6° (DE:1,69) y el AFT entre 177° y 182°, con una media de 179,2° (DE:1,33).

Los datos anteriores fueron tratados con el programa SPSS versión 10 para Windows. Se realizó una valoración estadística de las diferencias de las tres angulaciones obtenidas aplicando la «t» de Student para comparación de medias de muestras independientes (intervalo de confianza [IC] 95%). La diferencia no fue significativa en el AT ($p = 0,308$) pero sí lo fue para el AF ($p = 0,001$), siendo muy significativa para el AFT ($p < 0,001$). Debido al pequeño tamaño muestral se realizaron también pruebas no paramétricas (U Mann-Whitney), siendo los resultados similares a los obtenidos con la prueba «t» de Student.

Todos los casos pertenecientes al grupo con navegador mostraron un AFT considerado como ideal ($180^\circ \pm 3^\circ$),

mientras que eso sólo ocurrió en 9 de los pacientes intervenidos con la técnica estándar. Esta diferencia fue estadísticamente significativa (chi cuadrado) ($p < 0,001$).

DISCUSIÓN

La malposición en valgo y sobre todo en varo del platillo tibial ha sido reportada como la mayor causa de deslizamiento de la ATR, y 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 patelares. Se considera esencial, por tanto, la colocación lo más exacta posible del componente femoral y tibial siguiendo escrupulosamente el eje mecánico de la extremidad⁵⁻⁸. 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 anatómicas⁹. Tanto la instrumentación intra como extramedular pretenden la colocación correcta de los implantes¹⁰, y a pesar de los inconvenientes anteriormente referidos, el perfeccionamiento de la instrumentación conseguido en los últimos años permite una aproximación a este eje, hecho primordial que ha propiciado los mejores resultados a largo plazo obtenidos con las ATR^{11,12}.

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 más del 8% de los cortes tibiales son incorrectos¹³⁻¹⁵. Mahalusmiwala et al¹⁶ en un reciente trabajo revisan 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 en formación, 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. Ello 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

Tabla 1. Diferencias del ángulo femoral, ángulo tibial y ángulo femorotibial entre los dos grupos

Técnica	Ángulo femoral Valores límites y media	Ángulo tibial Valores límites y media	Ángulo femorotibial Valores límites y media
Estándar (manual)	90°-94° (91,7°)	87°-95° (90,2°)	172°-180° (175,9°)
Navegador	87°-93° (90,2°)	85°-93° (89,6°)	177°-182° (179,2°)
Diferencia	Significativa ($p = 0,001$)	No significativa ($p = 0,308$)	Muy significativa ($p < 0,001$)

de una tomografía axial de la metáfisis distal del fémur¹⁷. De esta manera se llegaría a conocer el llamado eje transepicondíleo, verdadera guía para colocar adecuadamente el componente femoral.

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 femoropatelar, y a la presencia de dolor en la cara anterior de la rodilla¹⁸. Existe una numerosa literatura aparecida en los últimos años que insiste en la necesidad de encontrar instrumentos que permitan sistematizar la rotación, sobre todo del componente femoral, llamando la atención sobre la necesidad de calcular mejor el eje transepicondíleo en el momento del implante¹⁹.

Puede afirmarse que la alineación errónea de la artroplastia es la causa más frecuente de fracaso, considerándose que la oblicuidad de la interlínea se asocia a un detrimento de la función, y sobre todo de la supervivencia del implante²⁰. A pesar de la incorporación de los nuevos instrumentales se considera que el 10% de los cortes tibiales se realizan con errores mayores de 4° y que desviaciones en la alineación final de la ATR son habituales, incluso en manos de cirujanos expertos.

Asimismo, existen dificultades para ajustar la rotación de los componentes. Es complejo hallar el eje transepicondíleo en el estudio preoperatorio y en la propia intervención, de tal manera que aunque en la literatura se insiste en colocar el componente femoral siguiendo el eje epicondíleo²¹, también se acepta que ello es difícil e impredecible²². Trabajos recientes^{23,24} insisten en la variabilidad de las referencias posteriores, sobre todo en deformidades en varo. Un error en la colocación rotacional de la ATR, aun en amplitudes mínimas, es responsable de la presencia de complicaciones patelares, de dolor en la cara anterior de la rodilla, de desgaste anormal del polietileno y de aflojamiento de las plataformas metálicas¹⁸. Además no existe consenso sobre las ventajas de la alineación intra o extramedular en la tibia y no puede ignorarse que la instrumentación intramedular, aunque más precisa, puede ocasionar complicaciones^{25,26}.

Si por una parte se considera que es primordial la colocación de la ATR siguiendo el eje mecánico de la extremidad, y por otra se aceptan las dificultades que para ello concurren, es comprensible que se busquen permanentemente alternativas para subsanar estos inconvenientes²⁷. La informática ha iniciado su contribución a la cirugía en los últimos años y recientemente se está aplicando a la colocación de las ATR. La estructura ósea puede ser bien evaluada mediante técnicas de imagen y permite ser reconstruida para

crear imágenes tridimensionales. Al mismo tiempo es un armazón rígido y admite simulaciones de prácticas quirúrgicas mostrando los efectos de técnicas y gestos antes del acto quirúrgico real²⁸.

Las aplicaciones informáticas en las artroplastias de rodilla pueden clasificarse en tres categorías: sistemas que realizan una planificación preoperatoria tridimensional 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. El sistema de navegación utilizado por nosotros 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, salvo la escasa experiencia en grandes deformidades y en cirugía de revisión. Sin embargo, para obtener virtualmente el centro de rotación de la cadera es necesario, 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 sensores, sobre todo en la cresta ilíaca, dificultades que consideramos más bien relacionadas con la curva de aprendizaje que con defectos propios del sistema.

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, la técnica está sujeta a errores subjetivos y los cambios en la magnificación pueden ofrecer cifras equívocas. Por eso nos parece más apropiada la exploración mediante TAC con imágenes digitalizadas y técnica de barrido o *surview* que permite mediciones exactas, reproducibles, objetivas y almacenables en formatos computarizados y portátiles²⁹.

Nuestros resultados han mostrado que con la utilización de este navegador quirúrgico se puede mejorar la colocación de los componentes en la ATR, y lo que es más importante, se consigue reproducir mejor el eje de la extremidad que con la técnica quirúrgica estándar. En nuestra serie la angulación ideal del componente femoral y tibial se obtuvo con más precisión mediante la CAO, pero los resultados fueron más llamativos en el AFT, donde las diferencias con el grupo estándar fueron estadísticamente muy significativas. Hay que señalar además que mediante la medición con TAC se observó que el AFT del grupo estándar se situaba predominantemente con algunos grados de varo, mientras que todos los casos intervenidos con navegación mostraron un AFT considerado como ideal ($180 \pm 3^\circ$). Es posible que discrepancias menores de 1° en el AF, AT y AFT tengan es-

caso valor real, pero la tendencia y sobre todo la diferencia entre los AFT de ambos grupos deben considerarse reales y exponentes de una más exacta técnica. El tiempo quirúrgico consumido utilizando el navegador fue mayor que en el grupo estándar, pero ha ido decreciendo al aumentar la experiencia con la CAO, y en los últimos casos la utilización del navegador únicamente retrasó una media de 13 minutos el final de la intervención.

La bibliografía sobre la CAO en las artroplastias de rodilla es aún reducida. Una búsqueda realizada por nosotros en febrero de 2002 examinando la base Pubmed (Medline), introduciendo el término de búsqueda *computer assisted knee replacement*, únicamente recogió 45 referencias. Los trabajos se habían publicado entre 1997 y 2001, y casi todos aparecieron en publicaciones de bioingeniería y en lengua alemana³⁰⁻³³; se detectaron únicamente 19 artículos referidos a trabajos clínicos, de los que sólo 8 se relacionaban directamente con la utilidad de la navegación quirúrgica en las ATR. En ningún caso se había utilizado un sistema de CAO como el nuestro, inalámbrico, y todos ellos mostraban experiencias preliminares mediante estudios a corto plazo.

Delp et al² realizaron un estudio previo para analizar los resultados del implante de artroplastias de rodilla con y sin navegador. Después de la comprobación del sistema en cadáveres compararon retrospectivamente los resultados de 4 casos donde se empleó un sistema de navegación (Optotrack, Northern Digital) 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 AFT medio fue de 181°, el AF de 88,2° y el AT de 91,5°.

Mielke et al³¹ han analizado también 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 (Orthopilot System). 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 de 10 a 15 minutos.

Jenny y Boeri³³ han publicado recientemente un estudio comparativo entre 40 ATR implantadas mediante el sistema de navegación Orthopilot 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 colo-

cación de la artroplastia, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$).

Otros autores como Saragaglia et al³⁴ han publicado también los resultados de un estudio comparativo entre ATR implantadas con y sin navegación. Estudiaron a 25 pacientes intervenidos con cirugía convencional y 25 en los que se utilizó navegación quirúrgica mediante un sistema con cables. Los dos grupos eran comparables en todos los parámetros preoperatorios y el objetivo ideal era conseguir un AFT de $180^\circ \pm 3^\circ$ 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 $181,2^\circ \pm 2,72^\circ$ en el grupo intervenido con técnica manual, y $179,04^\circ \pm 2,53^\circ$ 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. El diseño de este estudio es semejante al nuestro: prospectivo y aleatorizado, y los resultados son bastante parecidos. Sin embargo, para estos autores la diferencia en el tiempo quirúrgico entre los dos grupos es mayor que en nuestra serie (32 y 18 minutos, respectivamente). En el grupo con navegación estudiado por nosotros se obtuvo un AFT ideal en todos los casos, mientras que para los autores mencionados sólo se consiguió en el 84% de los casos.

Son muchas las ventajas que aporta un sistema de CAO 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, al mismo tiempo que evita los inconvenientes de la conexión mediante cables. 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. 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 a 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.

Aunque aún la experiencia con estos sistemas todavía es limitada, se considera que la CAO en cirugía ortopédica tendrá un inmenso desarrollo en los próximos años²⁸ y es posible que en el futuro sea una exigencia formal de los pacientes al cirujano. Es previsible que las grandes deformidades y la cirugía de revisión sean los siguientes campos de actuación de los sistemas de navegación en las ATR, y la conjunción de clínicos, ingenieros, informáticos e industria definirán el porvenir de la CAO.

BIBLIOGRAFÍA

- Moreland JR, Basset LW, Harker GJ. Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity. *J Bone Joint Surg Am* 1987;69A:745-9.
- Delp LS, Stulberg DS, Davies D, Picard F, Leitner F. Computer assisted knee replacement. *Clin Orthop* 1988;354:49-56.
- Krakov 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.
- Ahlback S. Osteoarthritis of the knee. A radiographic investigation. *Acta Radiol Diagn* 1968;(Suppl 277):7-72.
- Fukuoka S, Yoshida K, Yamano Y. Estimation of the migration of tibial components in total knee arthroplasty. A roentgen stereophotogrammetric analysis. *J Bone Joint Surg Am* 2000;82A:222-7.
- Cooke TD, Scudamore RA, Bryant JT, Sorbie C, Siu D, Fisher B. A quantitative approach to radiography of the lower limb. Principles and applications. *J Bone Joint Surg Br* 1991;73B:715-20.
- Ritter MA, Faris PM, Keating EM, Meding JB. Postoperative alignment of total knee replacement. Its effect on survival. *Clin Orthop* 1994;299:153-6.
- Perillo-Marcone A, Barrett DS, Taylor M. The importance of tibial alignment. Finite analysis of tibial malalignment. *J Arthroplasty* 2000;15:1020-7.
- Bai B, Baez J, Testa N, Kummer FJ. Effect of posterior angle on tibial component loading. *J Arthroplasty* 2000;15:916-20.
- Nagamine R, Miura H, Bravo CV, Urabe K, Matsuda S, Miyaniishi K, et al. Anatomic variations should be considered in total knee arthroplasty. *J Orthop Sci* 2000;5:232-7.
- 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.
- 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.
- Teter KE, Bregman D, Colwell CW. The efficacy of intramedullary femoral alignment in total knee replacement. *Clin Orthop* 1995;321:117-21.
- Novotny J, González MH, Amirouche FML, Li YC. Geometric analysis of potential error in using intramedullary guides in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2001;16:641-7.
- Nuño-Siebrecht N, Tanzer M, Bobyn JD. Potential errors in axial intramedullary instrumentation for total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2000;15:228-30.
- 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.
- Akagi M, Yamashita E, Nakagawa T, Asano T, Nakamura T. Relationship between frontal knee alignment and reference axes in the distal femur. *Clin Orthop* 2001;388:147-56.
- 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.
- Archibeck MJ, White RE. What's new in adult reconstructive knee surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83A:1444-50.
- Matsuda S, Miura H, Nagamine R, Urabe K, Harimaya K, Matsunobu T, et al. Changes in knee alignment after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 1999;14:566-70.
- Miller MC, Berger RA, Petrella AJ, Karmas A, Rubash HE. Optimizing femoral component rotation in total knee arthroplasty. *Clin Orthop* 2001;392:38-45.
- Katz MA, Beck TD, Sikber JS, Seldes RM, Lotke PA. Determining femoral rotational alignment in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2001;16:301-5.
- Pagnano NW, Hanssen AD. Varus tibial joint line obliquity: a potential cause of femoral component malrotation. *Clin Orthop* 2001;392:68-74.
- Kaper BP, Woolfrey M, Bourne RB. The effect of built-in external femoral rotation on patellofemoral tracking in the genesis II total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2000;15:964-9.
- Caillouette JT, Anzel SH. Fat embolism syndrome following the intramedullary alignment guide in total knee arthroplasty. *Clin Orthop* 1990;251:198-9.
- Yau WP, Ng TP, Chiu Y. Unusual complication associated with femoral intramedullary alignment guide in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2001;16:247-9.
- Goose F, Brack C, Gotte H, Ruhmann O, Schweikard A, Vahldiek M. Robot-assisted knee endoprosthesis. *Orthopade* 1997;26:258-66.
- DiGioia III AM. Editorial Comment. *Clin Orthop* 1998;354:2-4.
- Hinarejos Gómez P, Monllau López JC, Ballester Soleda J. Cirugía de rodilla asistida por ordenador. *Cursos de Actualización SECOT*; octubre 2001; Bilbao. España. p. 37.
- Martelli M, Marcacci M, Nofrini L, La Palombara F, Malvisi A, Iacono F, et al. Computer-and robot-assisted total knee replacement: analysis of a new surgical procedure. *Ann Biomed Eng* 2000;28:1146-53.
- 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.
- Thoma W, Schreiber S, Hovy L. Computer-assisted implant positioning in knee endoprosthesis. Kinematic analysis for optimization of surgical technique. *Orthopade* 2000;29:614-26.
- Jenny JY, Boeri C. Navigated implantation of total knee endoprostheses. A comparative study with conventional instrumentation. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2001;139:117-9.
- 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.