

Alineamiento en prótesis total de rodilla: cuestionando los paradigmas

Rafael Calvo,¹ Javier González,² Rodrigo Guilloff,¹ David Figueroa¹

¹Departamento de Traumatología, Unidad de Rodilla y Artroscopia, Clínica Alemana - Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile

²Fellow cirugía de rodilla, Clínica Alemana - Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile

RESUMEN

La artroplastia total de rodilla (ATR) es un procedimiento altamente exitoso, sin embargo, podemos encontrar pacientes insatisfechos. Aunque la insatisfacción posterior a una ATR es un problema multifactorial, existe un interés creciente en el alineamiento como causa modificable del problema. El alineamiento ideal en ATR aún sigue siendo motivo de controversia y se describen muchas técnicas. La técnica clásica y más utilizada es el alineamiento mecánico, pero existen otros como el anatómico, mecánico ajustado, cinemático, cinemático reverso y el recientemente descrito alineamiento funcional.

En esta revisión narrativa se detallan las técnicas de alineamiento más utilizadas, sus beneficios y problemas, y se comentan cuáles podrían ser los nuevos lineamientos que podrían guiar las técnicas de alineamiento en los próximos años.

Palabras clave: Alineamiento; Artroplastia de Rodilla; Revisión, Opinión de Experto

ABSTRACT

Total knee arthroplasty (TKA) is a highly successful procedure; however, we can find dissatisfied patients. Although post-TKA dissatisfaction is a multifactorial problem, there is growing interest in alignment as a modifiable cause of the problem. The ideal alignment in TKA is still controversial and many techniques are described. The classic and most used technique is mechanical alignment, but there are others such as anatomical, adjusted mechanical, kinematic, reverse kinematic alignment and the recently described functional alignment.

This narrative review details the most used alignment techniques, their benefits and problems, and comments on what could be the new guidelines that could guide alignment techniques in the coming years.

Key words: Alignment; Total Knee Arthroplasty; Review; Expert Opinion

INTRODUCCIÓN

La artroplastia total de rodilla (ATR) es un procedimiento altamente exitoso para pacientes con artrosis severa de rodilla, con una tasa reportada de supervivencia de quince años de más del 96% y más del 82% a veinticinco años.¹ Sin embargo, esta alta tasa de supervivencia está asociada a un porcentaje importante de pacientes descontentos, cerca de 20%, que continúan con dolor de rodilla y otras molestias inespecíficas.²

Aunque la insatisfacción luego de una ATR es un problema multifactorial,³ existe un creciente interés en el alineamiento como una causa modificable de esta problemática.⁴ Teóricamente, una técnica de alineamiento óptima podría ayudar a incrementar la satisfacción del paciente, mejorar los resultados funcionales, aumentar la supervivencia del implante y reducir las complicaciones luego de una ATR.⁵ Por otro lado, el mal alineamiento ha sido asociado con una cinemática alterada de la rodilla, aumento del desgaste de los componentes, malos resultados funcionales y falla prematura del implante.⁶

Definir cuál es el tipo de alineamiento más adecuado

en ATR continúa siendo tema de controversia.⁴ Por décadas, el objetivo ha sido obtener una rodilla estable, con un alineamiento mecánico neutro tal como fue propuesto por Insall,⁷ lo cual ha otorgado una excelente tasa de supervivencia del implante. Sin embargo, esto ha sido puesto en duda como el parámetro a seguir,⁸ ya que el alineamiento mecánico (AM) no restaura el alineamiento constitucional paciente-específico, más bien recrea una “rodilla protésica biomecánicamente amigable” con las cargas sobre el implante ecualizadas con el objetivo de prevenir un aflojamiento temprano.^{9,10} Es más, una rodilla nativamente neutra (ángulo cadera-rodilla-tobillo $0 \pm 3^\circ$) se da solo en un porcentaje limitado de la población, mientras que el varo constitucional ($>3^\circ$) se ha descrito en más del 30% de los hombres y 17% de las mujeres.⁸ Por lo tanto, para mejorar los resultados clínicos y la satisfacción reportada por los pacientes, nuevos alineamientos para ATR han sido propuestos en los últimos años.

En una revisión sistemática, Riviere y cols. reportaron cinco técnicas de alineamiento de los implantes:⁹ AM, anatómico (AA), mecánico ajustado, cinemático (AC) y cinemático restringido (RestC).

Los primeros dos pueden ser considerados como “abordajes sistemáticos” ya que ambos buscan un alineamiento neutro con una línea articular sistemática: AM con una línea articular a 90° del eje mecánico femoral y tibial, y

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Rafael Calvo

rcalvo61@gmail.com

Recibido: Marzo de 2022. Aceptado: Marzo de 2022.

AA una línea articular oblicua (2–3° valgo) en relación con el eje mecánico de la extremidad inferior. Los últimos tres se pueden considerar bajo el concepto de “alineamiento personalizado” o alineamiento paciente-específico en ATR, introducido por Lustig y cols.,¹⁰ el cual incluye una sexta técnica de alineamiento definida como cinemático reverso (RevC).

Recientemente, Oussedick y cols. han también introducido una séptima técnica de alineamiento: alineamiento funcional (AF),¹¹ Esta última es considerada una técnica híbrida que mezcla conceptos de alineamiento mecánico y cinemático, preservando la tensión de las partes blandas y al mismo tiempo el entorno mecánico de la extremidad.

La distinción entre las diferentes técnicas de alineamiento es a veces confusa y está evolucionando rápidamente dentro de la era de la artroplastia robótica. Esta revisión narrativa tiene como objetivo describir las diferentes técnicas de alineamiento en ATR, sus respectivos beneficios y limitaciones y discutir el método que podría conducir a los mejores resultados.

TÉCNICAS DE ALINEAMIENTO

Alineamiento mecánico

Una rodilla mecánicamente alineada ha sido el objetivo por décadas en ATR y es aún la técnica de alineamiento más usada.⁵ Originalmente descrita por John Insall,¹² busca implantar tanto el componente tibial como el femoral perpendiculares a los ejes mecánicos de tibia y fémur, respectivamente, rotando externo el componente femoral para obtener un *gap* rectangular y balanceado en flexión y extensión, y de esta forma un alineamiento general neutral.^{11,13} El principio detrás de esta técnica de alineamiento es perseguir una mejor distribución de la carga del implante para promover un desgaste simétrico del componente, incrementar su durabilidad y prevenir la inestabilidad patelar.^{9,11} Los parámetros coronales se logran instalando los implantes perpendiculares a los ejes mecánicos femoral y tibial y los parámetros sagitales son dictados por la anatomía del paciente. Los parámetros femorales rotacionales son establecidos en referencia a la anatomía femoral o el *gap* de flexión.^{9,11}

Hay dos métodos clásicos para lograr el alineamiento de la rodilla: la **resección medida** (RM) y el **balance de espacios** (BE) del fémur y la tibia.¹⁴ En la resección medida los cortes óseos se hacen en función de referencias anatómicas, sin considerar la situación ligamentaria, tales como: el eje transepicondileo, eje femoral anteroposterior o línea de Whiteside y eje femoral condilar posterior. El cirujano sigue la guía de los instrumentos para obtener una resección ósea femoral distal y posterior similar. Los ligamentos son posteriormente ajustados mediante li-

beración de partes blandas. En el BE, se usan sistemas de distracción para definir la mejor posición de la prótesis siguiendo los conceptos del alineamiento mecánico y, subsecuentemente, los cortes óseos y liberación ligamentaria son adaptados a esto. En relación al fémur, la referencia es el eje transepicondileo (ETE), el cual se consideraba originalmente como el eje de flexo-extensión de la rodilla nativa, creando una línea articular femorotibial perpendicular a un eje mecánico neutro de la extremidad y con un mecanismo extensor frontalmente alineado.¹⁵

El AM ha provisto una buena a excelente sobrevida del implante a largo plazo.¹⁶ Sin embargo, ha sido cuestionado como estándar de oro en los últimos años¹¹ debido a una tasa elevada de insatisfacción y síntomas residuales.⁹ Es más, estudios recientes han mostrado que una rodilla mecánicamente alineada podría no ser necesaria para obtener una buena sobrevida a largo plazo del implante.¹⁴ Kim y cols.¹⁷ realizaron un ensayo clínico aleatorizado (ECA) con un seguimiento promedio de más de 10.8 años y descubrieron que una desviación mayor de 3° del eje mecánico neutro no incrementó la tasa de aflojamiento de los componentes o falla comparado con aquellos pacientes con un alineamiento de extremidad dentro de 3° del eje mecánico neutro luego de una ATR. El mismo hallazgo fue reforzado por Bonner y cols.¹⁸ y Parrate y cols.¹⁹ en sus respectivos estudios comparativos. Respecto a los resultados funcionales confrontados con las otras técnicas de alineamiento, dos ECA comparando AM con AC en ATR reportaron mejores resultados funcionales con una ATR con AC con una diferencia estadísticamente significativa;^{20, 21} mientras otros han mostrado resultados funcionales comparables.^{22,23} Una revisión sistemática contrastando AC con AM con dos años de seguimiento de Sappey-Marinier en 2020²⁴ mostró resultados clínicos y radiológicos similares, en tanto que otra revisión sistemática realizada por Xu y cols. en 2019²⁵ encontró mejores resultados funcionales con AC y tiempo operatorio menor; sin embargo, sin diferencias entre ambas técnicas en relación a resultados radiológicos y tasas de complicaciones.

Alineamiento anatómico (AA)

Inicialmente introducido en 1980 por Hungerford y Krackow²⁶ como una técnica alternativa al clásico AM para lograr un alineamiento neutro sin la necesidad de convertir la línea articular nativa desde un promedio de 87° (3° de varo) a 90° (neutro). Esta técnica sistemáticamente recrea la línea articular oblicua de la rodilla nativa alterando los objetivos quirúrgicos originales que se quieren lograr en el alineamiento mecánico en el plano coronal,¹¹ buscando una línea articular oblicua de 2–3° de varo.⁹ Sin esta extensión en el corte óseo coronal no hay necesidad de ro-

tar externo el componente femoral al balancear el *gap* de flexión con el de extensión.¹¹ No obstante, una resección excesiva de más de 3° de corte tibial en varo podría conducir a una mala posición tibial en varo del implante, la que se ha asociado con falla prematura del implante en ATR.^{27,28} Por lo tanto, se ha recomendado un límite de 3° de varo tibial en el AA. La precisión humana para lograr la oblicuidad de la línea articular y mantenerse dentro del límite tibial anatómico de varo ha sido cuestionada y fue largamente abandonada. Sin embargo, con la tecnología actual, con el apoyo de la navegación o cirugía robótica, se pueden realizar cortes precisos, con la posibilidad de hacer una técnica de alineamiento similar con resultados más predecibles.^{9,11} Otra razón por la cual el AA no fue adoptado en forma generalizada fue por el desgaste acelerado del polietileno. Estudios mostraron mayor desgaste en las rodillas anatómicamente alineadas en comparación con el mecánico. En los últimos años se hizo obvio que esto fue consecuencia de la mala calidad del polietileno utilizado, pero la opinión generalizada en el momento fue que la técnica de alineamiento jugó un rol importante.¹⁴

Alineación cinemática (AC)

Introducida por Howell y cols. en 2013,²⁹ esta técnica busca recrear la anatomía de la rodilla nativa¹¹ debido a que el alineamiento de la extremidad inferior en la población general es neutro solamente en un 5 a 5.5% de los pacientes.³⁰ Por lo tanto, los autores argumentan que en una ATR con AM la rodilla es forzada a una posición no natural con cambios resultantes en su biomecánica que alteran el eje de flexión femoral nativo, tensión ligamentaria, función del cuádriceps, *tracking* patelar y cinemática general de la rodilla.¹³ La AC puede ser considerada como la primera técnica de alineación personalizada en ATR, ya que es una técnica paciente-específica con el objetivo de restaurar la alineación de extremidad y la línea articular preartrosis altamente variables entre individuos.⁹ La preservación del alineamiento de extremidad individualizado busca reducir las complicaciones relacionadas con forzar la extremidad a un alineamiento mecánico neutro tales como aflojamiento aséptico, inestabilidad, mal *tracking* patelar, rigidez y lesión del nervio peroneo común.⁷ Dos ECA y otros estudios multicéntricos han demostrado que pacientes tratados con AC reportaron diferencias estadísticamente significativas en mejoría del dolor, función, flexión de la rodilla y sensación de normalidad en favor de AC respecto de AM, con tasas de supervivencia del implante comparables a dos, tres y seis años.^{20,21,29} Sin embargo, aún se pone en duda por la falta de estudios a largo plazo que demuestren tasas de supervivencia similares. Otro problema es la técnica quirúrgica, difícil de replicar e implante dependiente.

Alineamiento mecánico ajustado (AMa)

Vanlommel y cols.³¹ describieron esta técnica como una adaptación de la técnica convencional de AM, con el objetivo de subcorregir el varo o valgo constitucional a un máximo de 3°, basados en la literatura que muestra buenos resultados con la subcorrección de la deformidad.^{31,32} Un porcentaje significativo de la población tiene una rodilla nativa en varo o valgo. Una sobrecorrección a 0° de alineamiento mecánico podría afectar los resultados funcionales.⁷

La técnica quirúrgica es similar a la técnica de AM. Pero en pacientes con varo constitucional se realiza una subcorrección a un máximo de 3°.³¹ Deformidades constitucionales leves a moderadas son preservadas, mientras las deformidades severas son atenuadas. El ajuste de posicionamiento de los implantes se hace en el lado femoral ya que los promotores de esta técnica buscan mantener el implante tibial mecánicamente alineado.⁹

Vanlommel en su estudio encontró que los pacientes con deformidad constitucional tenían mejores resultados clínicos y funcionales si el alineamiento era subcorregido en comparación con una corrección a alineamiento neutro.³¹ Zhang y cols.,³³ en 2020, realizaron un estudio retrospectivo de ciento setenta y cinco pacientes con un seguimiento promedio de cinco años. No encontraron diferencias clínicas entre pacientes con alineamiento en varo leve a moderado y pacientes con alineamiento mecánico neutro, pero sí peores resultados en varo severo y rodillas valgus. Rajasekaran y cols. compararon resultados funcionales de una técnica de alineamiento neutra y subcorrección luego de una ATR en rodillas con varo severo.³⁴ Encontraron mejores resultados funcionales a los tres meses postoperatorios, pero resultados similares a un año postoperatorio.

El problema: parece ser una buena técnica para rodillas en varo, no recomendable para rodillas en valgo.³³ Buenos resultados a mediano plazo, pero falta de estudios a largo plazo.

Alineamiento cinemático restringido (ACr)

Descrita por primera vez por Almaawi y cols.,⁶ es presentada como una técnica modificada de alineación cinemática en ATR. Usa un algoritmo para situar a pacientes con anatomía más extrema que podría probarse como no recomendable para el éxito a largo plazo del implante. Implica una modificación de los cortes óseos dentro de un "rango de seguridad". Estos autores restringen la indicación de AC para pacientes con una deformidad coronal menor que 3° y una línea articular con menos de 5° de oblicuidad.⁶ El ACr sigue los principios técnicos básicos de la AC, pero limitado a rodillas sin una deformidad severa.⁹

La técnica: en el escenario quirúrgico pueden darse dos situaciones. El eje mecánico tibial y femoral <5° o >5°.

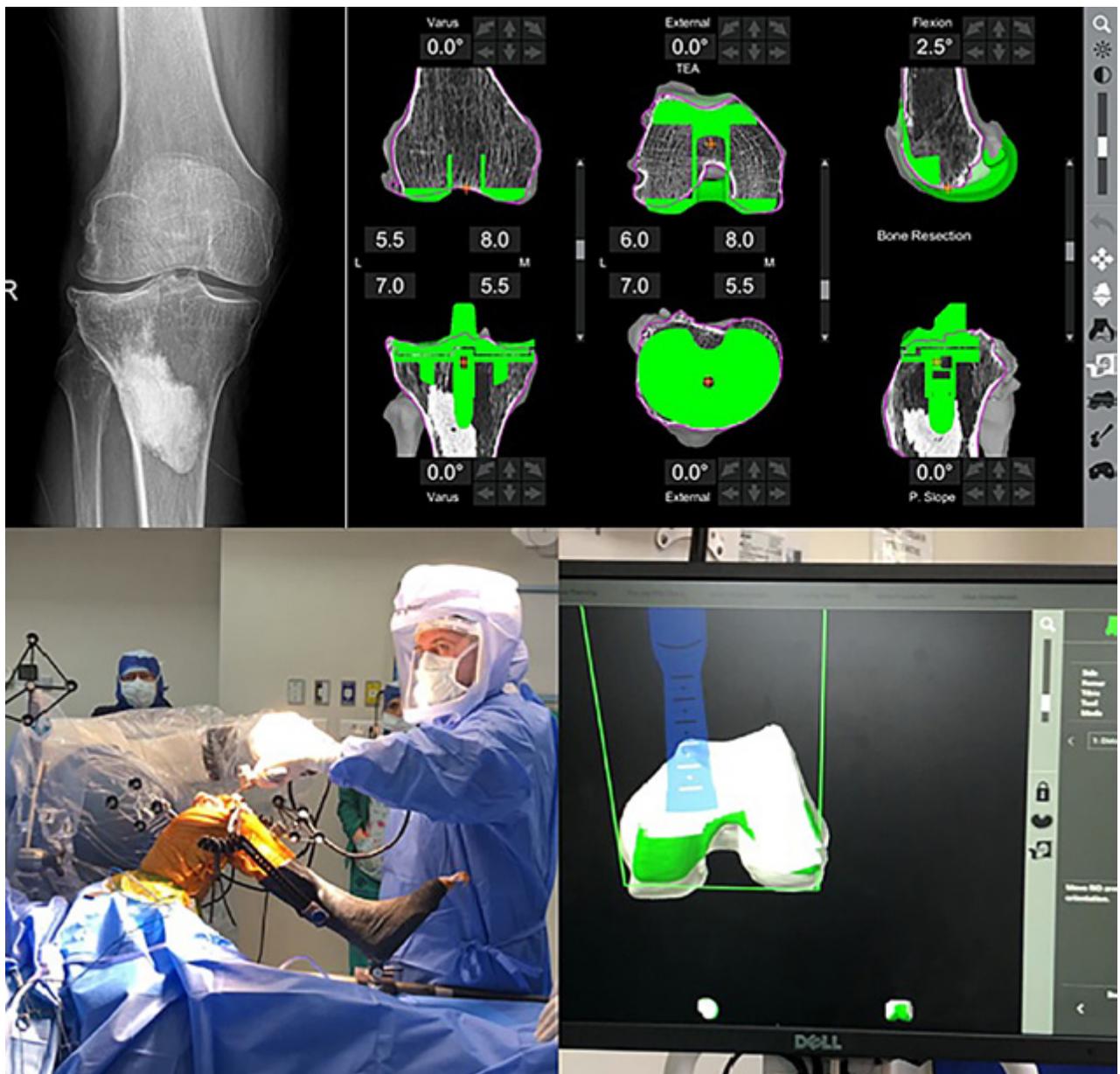


Figura 1: Arriba, izquierda: radiografía preoperatoria. Arriba, derecha: planificación preoperatoria realizada con CAR. Abajo, izquierda: cirujano realiza los cortes con el apoyo de cirugía robótica (abajo, derecha).

Con un eje inferior o igual a 5° , si el eje tibiofemoral (ángulo cadera rodilla o ACR) es igual o inferior que 3° , el cirujano puede realizar la ATR con técnica de AC. Si es superior a 3° de varo, el varo tibial es reducido hasta que el ángulo sea igual a 3° de varo. Si el ACR es superior a 3° de valgo, el varo tibial se debe corregir hasta que el ACR sea igual a 3° de valgo. Cuando el eje femorotibial es superior a 5° , se deben corregir los cortes femorales y tibiales.

Abhari y cols.³⁵ evaluaron la satisfacción de ciento veintidós pacientes luego de una ATR con ACr y la compararon con un grupo control con AM. Demostraron una diferencia estadísticamente significativa en favor del ACr. Un estudio retrospectivo de caso control nuevo³⁶ sugiere un riesgo aumentado de aflojamiento del implante tibial

comparado con AM usando una ATR estabilizada posterior. Recientemente, Vendittoly³⁷ publicó su experiencia con cuarenta y tres revisiones de ATR con técnica de ACr con resultados prometedores.

El problema: es una técnica de alineamiento nueva que adolece de trabajos a mediano y largo plazo.

Alineamiento cinemático reverso

Descrita por Winnock de Grave y cols.,³⁸ esta técnica sigue los principios básicos del AC, pero la resección ósea comienza en la tibia. El principio del alineamiento cinemático reverso es un “*resurfacing*” de la tibia con resección medial y lateral similar luego de corregir por el desgaste, manteniendo la oblicuidad previa de la línea articular.¹⁰

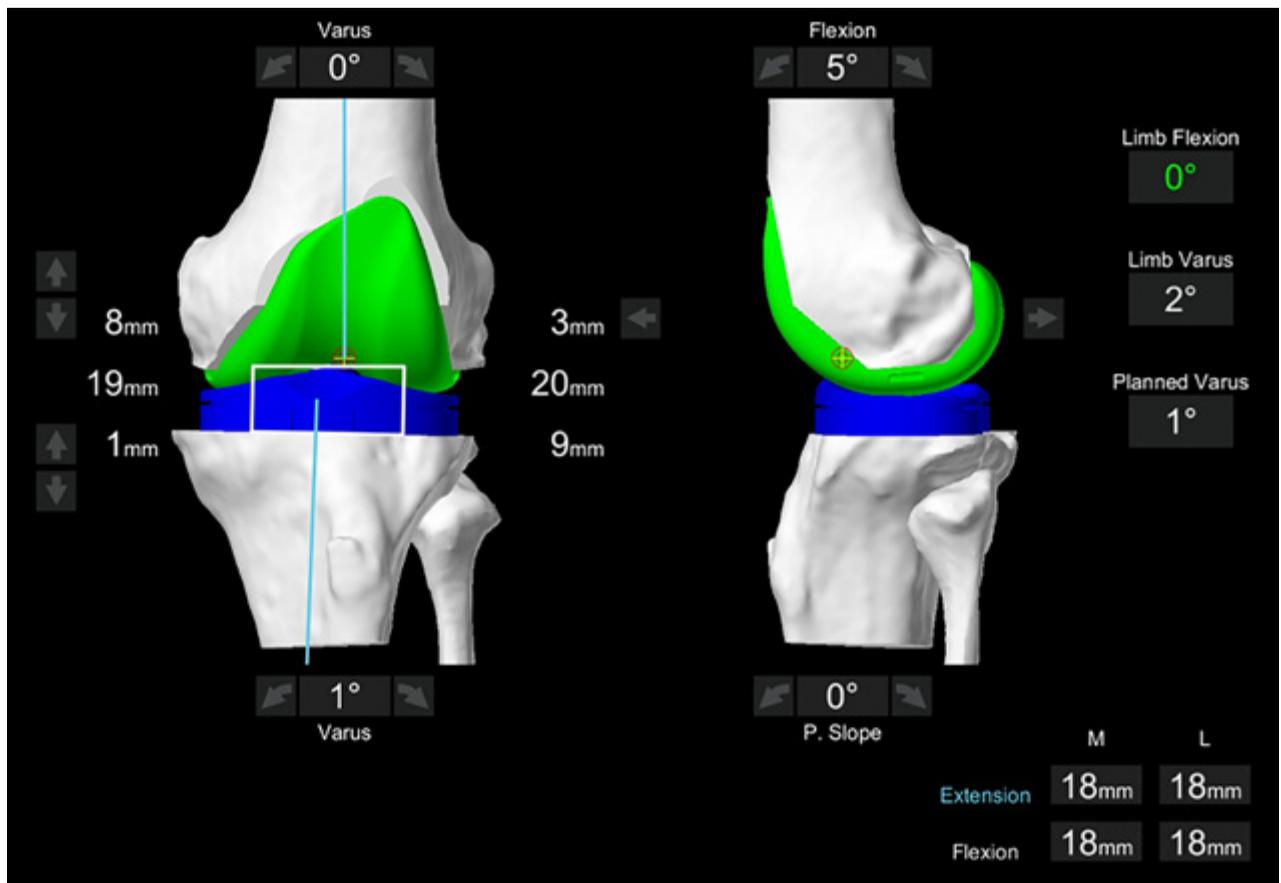


Figura 2: Planificación de cirugía con apoyo robótico con leve varo.

Esto fue inicialmente recomendado para rodillas valgus donde el cóndilo femoral lateral hipoplásico podría conducir a una sobreresección tibial si el corte iniciaba en el fémur.³⁸ Sappey-Marinié demostró que un incremento en la profundidad de la resección tibial es asociado con una laxitud en valgo significativamente mayor entre 30 y 90° de flexión, en particular con una resección tibial mayor o igual a 14 mm.

Esta técnica fue descrita usando sistemas de apoyo computacional.³⁸ El componente tibial es posicionado primero con el objetivo de restaurar el ángulo medial tibial proximal preartrosisico (AMTP), dentro de una zona de seguridad de 84° (varo) a 92° (valgo). El *slope* tibial es determinado por el *slope* medial tibial preartrosisico. Luego de esto, los espacios de flexión y extensión son balanceados ajustando los niveles de resección distal lateral y posterior lateral del fémur³⁸ con el objetivo de un ángulo ACR dentro de una zona de seguridad entre 174 a 183°.¹⁰

Los resultados: Winnock de Grave en su publicación presentó diferencias no significativas en resultados clínicos a doce meses entre alineamiento cinemático reverso y AMa.

El problema: faltan más estudios en relación con esta técnica de alineamiento. No existen aquellos que evalúen resultados a mediano o largo plazo.

Alineación funcional (AF)

Esta es una técnica de alineamiento reciente descrita por Kayani y cols. en 2020,¹³ busca restaurar la altura de la línea articular, preservar la oblicuidad nativa y lograr espacios en flexión y extensión balanceados con similar tensión de partes blandas medio lateral manipulando los cortes óseos y con un ajuste fino de la posición de los implantes. Esta técnica puede ser vista como un híbrido entre AM, AA y AC, toma todas las ventajas de cada uno para permitir una alineación mecánicamente armónica y amigable con las partes blandas que puede ser actualmente lograda con la “era de la cirugía robótica”, usando navegación intraoperatoria y la precisión de los cortes óseos asistidos robóticamente.

La ATR asistida robóticamente ofrece la posibilidad de lograr un alineamiento de extremidad no neutro de una manera más reproducible,³⁹ restaurando el alineamiento y la línea articular nativos dentro de ciertos rangos de seguridad.⁵ Esto ha sido definido como una reducción de los errores del alineamiento neutro.¹¹

Esta técnica tiene elementos tanto de resección medida como balance de espacios.¹¹ Tiene una planificación preoperatoria para lograr un eje mecánico neutro con posición de los componentes en forma perpendicular al eje mecánico de fémur y tibia.⁵ Luego, durante la cirugía, se

usan apoyos quirúrgicos (navegación o robótica) para evaluar el nivel de resección ósea, espacios de flexión y extensión y alineamiento de la extremidad.¹³ Se aplica estrés en varo o valgo para restaurar la tensión de partes blandas periarticular nativa. Se puede aplicar corrección en valgo a la resección femoral distal y corrección en varo a la resección tibial para restaurar la oblicuidad nativa de la línea articular.⁵ Los espacios pueden ser balanceados cambiando la posición de los implantes en los tres planos.¹¹ Todos los cambios son realizados bajo límites de seguridad aceptados y permiten que el alineamiento general de la extremidad se mantenga dentro de $0^\circ \pm 3^\circ$ de la zona de seguridad de alineamiento mecánico coronal.¹¹ No hay estudios aún evaluando los resultados a largo plazo de alineamiento funcional, pero se ha publicado recientemente un protocolo para un estudio prospectivo aleatorizado con cien pacientes comparando alineamiento mecánico efectuado de manera robótica versus alineación funcional con apoyo robótico.¹³ Los resultados de mayores estudios evaluando esta técnica aún se esperan,⁵ pero sin duda, a pesar de esto, es una técnica prometedora que podría impactar directamente en los resultados postoperatorios y disminuir la tasa de insatisfacción vista con el AM mientras corrige las desventajas de las otras técnicas de alineamiento.

NUESTRA PERSPECTIVA

La técnica de alineamiento juega un rol importante en la búsqueda de optimizar los resultados luego de una ATR. Si bien hay muchas técnicas descritas, en los últimos años, la cirugía robótica ha traído nuevas opciones de alineamiento. Se han desarrollado nuevas herramientas que utilizan los antiguos conceptos de alineamiento, pero que obtienen mayor exactitud. La cirugía con apoyo robótico (CAR) se ha introducido como un adjunto a la ATR con el potencial de mejoría del posicionamiento y alineación de los implantes de la ATR.⁴⁰

Estos sistemas son clasificados dentro de tres categorías principales: pasivo, semiactivo y activo.⁴⁰ Los últimos dos

son denominados ATR robótica. Algunos autores han demostrado mayor exactitud con el alineamiento con CAR. Hamp y cols.⁴¹ realizaron un estudio comparando ATR con robótica versus ATR con métodos tradicionales, hallaron que usando cirugía robótica el grosor del hueso de la osteotomía intraoperatoria era más parecido al del plan preoperatorio, y el ángulo de alineamiento postoperatorio era más exacto. Suero y cols.⁴² compararon treinta casos de ATR robótica con sesenta y cuatro casos de ATR tradicional y encontraron que el grado de variación en el grupo de robótica fue significativamente inferior que en el del grupo tradicional, y la reproducibilidad fue significativamente mayor. Song y cols.⁴³ reportaron treinta pacientes a los que se les realizó ATR bilateral durante el mismo período, a unos, cirugía tradicional y a otros, cirugía robótica. Notaron que las radiografías mostraron un alineamiento en los planos coronal y sagital más preciso en las rodillas con cirugía robótica (figs. 1 y 2).

En la búsqueda de mejores resultados luego de una ATR, estas nuevas herramientas abren la puerta a nuevas técnicas de alineamiento que pueden ofrecerlos.

Nosotros pensamos que el alineamiento funcional, con la ayuda de la CAR, es el camino a seguir, esto ofrece los beneficios funcionales de la alineación cinemática pero dentro de los límites de seguridad que se proponen para mantener las tasas de sobrevida a largo plazo del alineamiento mecánico. Sin embargo, esta es una nueva técnica de alineamiento que aún necesita de más estudios para sustentar sus beneficios propuestos.

El desarrollo del alineamiento en ATR debe seguir los principios de la alineación funcional, entendiendo esto como un posible camino para mejorar los resultados luego de una ATR, y así obtener una rodilla más natural y que siga los patrones dados por la anatomía individualizada de cada paciente.

Sin duda, este es todavía un tópico bajo discusión y desarrollo para establecer la manera óptima de alinear una prótesis y de esta manera lograr los mejores resultados funcionales y de sobrevida de la artroplastia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ben-Shlomo Y; Blom A; Boulton C; et al. National Joint Registry for England, Wales, Northern Ireland and the Isle of Man, 16th Annual Report. *NJR*, 2019; 1–248.
2. Baker PN; van der Meulen JH; Lewsey J; Gregg PJ. The role of pain and function in determining patient satisfaction after total knee replacement. Data from the national joint registry for England and Wales. *J Bone Joint Surg Br*, 2007; 89(7): 893–900.
3. Nam D; Nunley RM; Barrack RL. Patient dissatisfaction following total knee replacement: A growing concern? *Bone Joint J*, 2014; 96-B(11 Suppl A): 96–100.
4. Clement ND; Deehan DJ. Minimum reporting criteria for robotic assisted total knee arthroplasty studies: Alignment and balancing techniques should both be defined. *Bone Joint Res*, 2020; 9: 279–81.
5. Begum FA; Kayani B; Magan AA; Chang JS; Haddad FS. Current concepts in total knee arthroplasty. *Bone Jt Open*, 2021; 2(6): 397–404.
6. Almaawi AM; Hutt JRB; Masse V; Lavigne M; Vendittoli PA. The impact of mechanical and restricted kinematic alignment on knee anatomy in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 2017; 32: 2133–40.
7. Hernández-Vaquero D. The alignment of the knee replacement. Old myths and new controversies. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*, 2021; 65: 386–97.
8. Bellemans J; Colyn W; Vandenuecker H; Victor J. The Chitranjan Ranawat award: is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus. *Clin Orthop Relat Res*, 2012; 470(1): 45–53.
9. Rivière C; et al. Alignment options for total knee arthroplasty: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2017; 103: 1047–56.
10. Lustig S; et al. Personalized alignment in total knee arthroplasty:

- current concepts. *SICOTJ*, 2021; 7: 19.
11. Oussedik S; Abdel MP; Victor J; Pagnano MW; Haddad FS. Alignment in total knee arthroplasty. *Bone Joint J*, 2020; 102 B: 276–9.
 12. Insall JN; Binazzi R; Soudry M; Mestriner; LA. Total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 1985; 192: 13–22.
 13. Kayani B; et al. A prospective double-blinded randomised control trial comparing robotic arm-assisted functionally aligned total knee arthroplasty versus robotic arm-assisted mechanically aligned total knee arthroplasty. *Trials*, 2020; 21(1): 124.
 14. Howell SM. Kinematically aligned total knee arthroplasty. En: Insall and Scott Surgery of the Knee. 6th edition, *New York: Elsevier*, 2018; pp. 1784–96.
 15. Whiteside A. Principles of ligament balancing and alignment in total knee arthroplasty. En Javad Parvizi MFRCS (eds). *The knee reconstruction; replacement, and revision, 1–2. 2013; Data Trace Publishing Company*, pp. 2349–444.
 16. Patil S; McCauley JC; Pulido P; Colwell CW. How do knee implants perform past the second decade? Nineteen- to 25-year followup of the press-fit condylar design TKA. *Clin Orthop Relat Res*, 2015; 473: 135–40.
 17. Kim Y-H; Park J-W; Kim J-S. Computer-navigated versus conventional total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*, 2012; 94(22): 2017–24.
 18. Bonner TJ; Eardley WGP; Patterson P; Gregg PJ. The effect of post-operative mechanical axis alignment on the survival of primary total knee replacements after a follow-up of 15 years. *J Bone Joint Surg Br*, 2011; 93B: 1217–22.
 19. 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.
 20. Calliess T; et al. PSI kinematic versus non-PSI mechanical alignment in total knee arthroplasty: a prospective; randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017; 25: 1743–8.
 21. Dossett HG; Estrada NA; Swartz GJ; LeFevre GW; Kwasman BGA. Randomised controlled trial of kinematically and mechanically aligned total knee replacements: two-year clinical results. *Bone Joint J*, 2017; 96-B: 907–13.
 22. Young SW; et al. The Chitranjan S Ranawat Award: no difference in 2-year functional outcomes using kinematic versus mechanical alignment in TKA: A randomized controlled clinical trial. *Clin Orthop Relat Res*, 2017; 475: 9–20.
 23. Waterson HB; Clement ND; Eyres KS; Mandalia VI; Toms AD. The early outcome of kinematic versus mechanical alignment in total knee arthroplasty: A prospective randomised control trial. *Bone Joint J*, 2016; 98-B: 1360–8.
 24. Sappey-Mariniere E; et al. Kinematic versus mechanical alignment for primary total knee arthroplasty with minimum 2 years follow-up: A systematic review. *SICOTJ*, 2020 6: 18.
 25. Xu J; Cao JY; Luong JK; Negus JJ. Kinematic versus mechanical alignment for primary total knee replacement: A systematic review and meta-analysis. *J Orthop*, 2019; 16: 151–7.
 26. Hungerford DS; Kenna RV; Krackow KA. The porous-coated anatomic total knee. *Orthop Clin North Am*, 1982; 13(1): 103–22.
 27. Cherian JJ; et al. Mechanical; anatomical; and kinematic axis in TKA: Concepts and practical applications. *Curr Rev Musculoskelet Med*, 2014; 7: 89–95.
 28. Ritter MA; et al. The effect of alignment and BMI on failure of total knee replacement *J Bone Joint Surg Am*, 2011; 93: 1588–96.
 29. Howell SM; Howell SJ; Kuznik KT; Cohen J; Hull ML. Does a kinematically aligned total knee arthroplasty restore function without failure regardless of alignment category? *Clin Orthop Relat Res*, 2013; 471: 1000–7.
 30. Hood B; et al. Variation in optimal sagittal alignment of the femoral component in total knee arthroplasty. *Orthopedics*, 2017; 40: 102–6.
 31. Vanlommel L; Vanlommel J; Claes S; Bellemans J. Slight undercorrection following total knee arthroplasty results in superior clinical outcomes in varus knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2013; 21: 2325–30.
 32. De Muyllder J; Victor J; Cornu O; Kaminski L; Thienpont E. Total knee arthroplasty in patients with substantial deformities using primary knee components. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015; 23: 3653–9.
 33. Zhang Z; et al. Residual mild varus alignment and neutral mechanical alignment have similar outcome after total knee arthroplasty for varus osteoarthritis in five-year follow-up. *J Knee Surg*, 2020; 33: 200–5.
 34. Rajasekaran RB; Palanisami DR; Natesan R; Rajasekaran S. Minimal under-correction gives better outcomes following total knee arthroplasty in severe varus knees—myth or reality?—analysis of one hundred sixty two knees with varus greater than fifteen degrees. *Int Orthop*, 2020; 44: 715–23.
 35. Abhari S; et al. Patient satisfaction following total knee arthroplasty using restricted kinematic alignment. *Bone Joint J*, 2021; 103-B: 59–66.
 36. Sappey-Mariniere E; et al. Restricted kinematic alignment may be associated with increased risk of aseptic loosening for posterior-stabilized TKA: a case-control study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021; DOI:10.1007/s00167-021-06714-5
 37. Kostretzis L; et al. Revision total knee arthroplasty with the use of restricted kinematic alignment protocol: surgical technique and initial results. *Front Surg*, 2021; 8: 721379.
 38. Winnock de Grave P; et al. Higher satisfaction after total knee arthroplasty using restricted inverse kinematic alignment compared to adjusted mechanical alignment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020; 30(2): 488–99. DOI:10.1007/s00167-020-06165-4
 39. Kayani B; et al. The learning curve associated with robotic-arm assisted unicompartmental knee arthroplasty *Bone Joint J*, 2018; 100B: 1033–42.
 40. Figueroa F; Parker D; Fritsch B; Oussedik S. New and evolving technologies for knee arthroplasty—computer navigation and robotics: state of the art. *J ISAKOS Jt Disord Orthop Sport Med*, 2018; 3: 46–54.
 41. Hampp EL; et al. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty demonstrated greater accuracy and precision to plan compared with manual techniques. *J Knee Surg*, 2019; 32: 239–50.
 42. Suero EM; Plaskos C; Dixon PL; Pearle AD. Adjustable cutting blocks improve alignment and surgical time in computer-assisted total knee replacement. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2012; 20: 1736–41.
 43. Song EK; et al. Simultaneous bilateral total knee arthroplasty with robotic and conventional techniques: A prospective; randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2011; 19: 1069–76.