



TEMA DE ACTUALIZACIÓN

La alineación de la artroplastia de rodilla. Antiguos mitos y nuevas controversias

D. Hernández-Vaquero

Departamento de Cirugía, Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Oviedo, Oviedo, Asturias, España

Recibido el 20 de noviembre de 2020; aceptado el 1 de enero de 2021

Disponible en Internet el 23 de abril de 2021

PALABRAS CLAVE

Artroplastia de rodilla;
 Alineación mecánica;
 Alineación cinemática;
 Alineación funcional

Resumen Existe controversia en cuanto a la mejor técnica de alineación en las artroplastias de rodilla. La alineación mecánica persigue mantener el eje de la extremidad en $180 \pm 3^\circ$, y para ello utiliza la instrumentación estándar y las liberaciones tendinosas necesarias hasta conseguir una separación simétrica entre fémur y tibia, y similar en flexión y extensión. La alineación cinemática se basa en la elevada frecuencia del varo constitucional y para conseguirla se recomienda reseca la superficie ósea dañada sin alterar el eje preoperatorio de la extremidad y sin añadir liberación de partes blandas. No existe consenso sobre qué tipo de alineación es mejor para la función y los resultados de la artroplastia. Se reconoce que la alineación cinemática tiene sus limitaciones; puede ser que una técnica híbrida como la denominada alineación funcional sea la más recomendable, pero no existe en la literatura una pauta uniforme de recomendación.

© 2021 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

KEYWORDS

Total knee replacement;
 Mechanical alignment;
 Kinematic alignment;
 Functional alignment

The alignment of the knee replacement. Old myths and new controversies

Abstract Correct alignment of the limb after knee replacement implantation has been a commonly pursued goal since the beginning of this procedure. The mechanical alignment aims to maintain the axis of the limb at $180 \pm 3^\circ$, and for this it uses the standard instrumentation and the necessary tendon releases until achieving a symmetrical separation between femur and tibia and similar in flexion and extension. Kinematic alignment is based on the high frequency of the constitutional varus and to achieve this it is recommended to resect the damaged bone surface without altering the preoperative axis of the limb and without adding soft tissue release. There is no consensus on what type of alignment is best for the function and results of arthroplasty.

Correo electrónico: danielhvaquero@gmail.com

<https://doi.org/10.1016/j.recot.2021.01.002>

1888-4415/© 2021 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

It is recognized that kinematic alignment has its limitations, and it is possible that a hybrid technique such as the so-called functional alignment is the best option, but there is no uniform recommendation guideline in the literature.

© 2021 SECOT. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

Nadie puede dudar sobre los excelentes resultados que la artroplastia total de rodilla (ATR) origina en los pacientes que han necesitado este procedimiento; de hecho, puede considerarse que el reemplazamiento de la rodilla es una de las intervenciones quirúrgicas más frecuentes en cirugía reconstructiva, supone una técnica habitual entre los cirujanos ortopédicos, y es considerada como una de las actuaciones sanitarias con una mejor relación coste-eficiencia¹. A los 15 años la supervivencia de estos implantes es superior al 96% y a los 25 años superan el 82%², lo que permite sospechar que, si ello sucede con artroplastias diseñadas hace 30 años y utilizando algunos materiales obsoletos, la supervivencia de los modelos actuales será aún mayor.

No obstante, esta buena supervivencia se oscurece por un porcentaje elevado de pacientes, alrededor del 20%, que continúan con dolor y otras molestias inespecíficas en la rodilla con el paso del tiempo^{3,4}. Una reciente revisión sistemática de la literatura sobre este tema⁵ ha mostrado que, aunque un 71% de los pacientes experimentan una mejoría de los síntomas tras este procedimiento, solo el 22% catalogan el resultado como excelente. Si aceptamos estos datos, o bien los modelos protésicos, o la mano del cirujano o la técnica quirúrgica, no han conseguido reproducir el funcionamiento de una rodilla normal. A pesar de la aparición de novedosos diseños de ATR, incluyendo nuevos materiales y conceptos biomecánicos, no se consigue disminuir este porcentaje de pacientes insatisfechos, y parece que ni la industria ortopédica ni las mejoras en la técnica quirúrgica pueden solucionar esta eventualidad⁶⁻⁹.

En la literatura han sido numerosos los estudios que han intentado relacionar esta defectuosa evolución con diferentes variables. Se ha considerado que ello es debido a las elevadas expectativas que los pacientes atribuyen a este procedimiento, a la cada vez menor edad de estos o a la deficiente información preoperatoria con la que los pacientes normalmente se enfrentan a una ATR¹⁰. Pero, independientemente de que ello es posible en algunas circunstancias, es frecuente en la práctica profesional que, habiéndose implantado una ATR de modelo acreditado, con una técnica perfecta y con unos hallazgos postoperatorios radiográficos óptimos, los pacientes refieran molestias y percepciones incómodas, de mayor o menor intensidad, que obligan a decir al paciente que notan que «esta rodilla no es la mía». Esta sensación, que no es equiparable a la evolución de otros implantes como la artroplastia de cadera, no tiene relación con la experiencia del cirujano, ni

con la pauta postoperatoria ni con el nivel socio-económico del paciente. Ello puede deberse a la propia geometría y función de la rodilla, a la incompleta reconstrucción del aparato ligamentoso o a las diferencias entre el lado medial y lateral de esta articulación, diferencias que no son plasmadas correctamente en los diseños artroplásticos.

Determinados factores supeditados directamente al cirujano como la inestabilidad residual, la mala alineación o el deficiente balance ligamentoso, han sido responsabilizados de los resultados inadecuados¹¹. Y ello puede suceder cuando se conoce que el 50% de los fracasos precoces de las ATR se debe precisamente a estos defectos de la técnica quirúrgica¹².

En la búsqueda de soluciones para mejorar estos resultados, se han planteado nuevas tecnologías de ayuda para el implante (desde la navegación hasta la robótica), se pretende valorar mejor el balance ligamentoso (midiendo y corrigiendo el espacio entre fémur y tibia), se han definido nuevos requerimientos cinemáticos y han aparecido novedosos conceptos sobre la alineación correcta de la rodilla tras la ATR. Pero para obtener una buena alineación un requisito indispensable es conocer y validar la técnica quirúrgica. Este Tema de Actualización se inicia examinando algunos aspectos de la técnica quirúrgica relacionada directamente con la alineación, y posteriormente se centra en los diferentes sistemas de alineación que se han descrito, con especial dedicación a la literatura recientemente publicada.

Obtención de un espacio articular efectivo y simétrico

El objetivo de una ATR es conseguir una rodilla bien alineada y balanceada o sea con estructuras ligamentosas simétricas que aporten estabilidad a la neoarticulación. Pero ello no es fácil. Hay que recordar que la rodilla es una articulación relativamente inestable que cuenta con estructuras estabilizadoras que aportan estabilidad. En una rodilla normal el compartimento medial es estable en flexión y en extensión, el compartimento lateral permite una laxitud en extensión, algo mayor en flexión (3-4 mm) cuando se compara con el medial y la separación femoro-tibial o *gap* tampoco es simétrica sino mayor en flexión que en extensión (2-3 mm). Puede comprenderse que estas características son difíciles de reproducir en el implante de una ATR.

El concepto de la denominada rodilla balanceada (*balanced knee*) no está claramente definido y manualmente es difícil de conseguir¹³. Este balance de la rodilla se puede obtener siguiendo 4 técnicas: medida de la resección

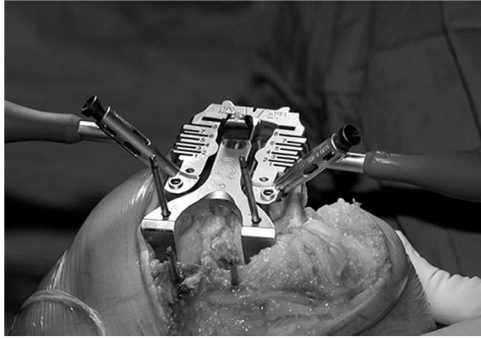


Figura 1 Instrumentación femoral en la técnica MR. Aplicación de la plantilla de corte con referencia en la zona condílea posterior.

(*measured resection*), balance de la separación entre fémur y tibia (*gap balancing*), medida de la presión intracompartimental con nuevos sistemas específicos^{14,15} y sistema convencional¹⁶. A su vez la medición del *gap* puede hacerse con el uso de bloques, espaciadores laminares, sistemas de tensión más o menos sofisticados o con los componentes de prueba.

Debido a que la colocación correcta del componente femoral de la ATR en cuanto a su rotación es difícil de conseguir, se han diseñado diferentes técnicas quirúrgicas que persiguen colocar ese componente en una correcta posición permitiendo por una parte el correcto deslizamiento rotuliano, por otra una estabilidad ligamentosa y, por último, unos espacios en flexión y extensión similares. Las referencias óseas que se utilizan y que permiten utilizar la instrumentación convencional no son uniformes y algunas son difíciles de recoger intraoperatoriamente; de hecho, en una reciente revisión sistemática de la literatura no se consiguió identificar cuáles eran las referencias mejores para determinar esta rotación femoral¹⁷.

Esta dificultad y la importancia de conseguir una alineación rotacional correcta, ha dado origen a 2 técnicas alternativas en el implante de una ATR¹⁸: la técnica de la medida de la resección ósea o *measured resection* (MR) y la llamada técnica dependiente o *tensioned gaps* (TG) también llamada *gap balancing*¹⁹.

En la MR se usan las referencias anatómicas para colocar el implante. Los cortes óseos son realizados independientemente de la situación ligamentosa y se basan en el eje



Figura 2 Tensionado manual en extensión de los ligamentos según la técnica GP.

transepicodíleo, el eje anteroposterior femoral o eje de Whiteside y el eje posterior de los cóndilos (fig. 1). El cirujano sigue las guías del instrumental, intentando que las resecciones óseas femoral distal y posterior sean similares; los ligamentos se adaptan después a través de liberaciones de partes blandas²⁰. El implante deberá tener el mismo grosor que las resecciones óseas realizadas. Si los cortes son realizados incorrectamente o las liberaciones ligamentosas son erróneas el espacio femoro-tibial se verá comprometido tanto en flexión como en extensión (tabla 1).

En la TG se usan sistemas de distracción para definir la mejor posición de la artroplastia y posteriormente se adaptan a ello los cortes óseos y las liberaciones ligamentosas (fig. 2). El componente femoral es posicionado paralelamente al corte de la resección tibial y cada ligamento colateral es tensionado hasta conseguir un rectángulo simétrico en la flexión a 90° y en la extensión completa de la rodilla. Dependiendo de la preferencia técnica del cirujano puede iniciarse la medición del *gap* y las liberaciones en flexión o en extensión, pero siempre a partir de la resección tibial proximal. Un momento crítico del TG es cuando se realiza la osteotomía tibial; una resección en varo ocasionaría un aumento de la rotación interna del componente femoral y una resección en valgo ocasionaría un aumento de la rotación externa del mismo. Igualmente es necesaria la integridad de los ligamentos laterales.

Tanto una técnica como otra tienen sus defensores y detractores^{21,22}. Mientras la MR puede ser segura en la mayoría de los casos, la utilización exclusiva de esta técnica

Tabla 1 Modificación del espacio articular considerando los errores cometidos en la resección ósea en una ATR

	Componente	Error en la resección ósea	Medial	Lateral	Flexión	Extensión
Coronal	Femoral o tibial	Varo	+	–	No	No
		Valgo	–	+	No	No
Sagital	Femoral	Anterior	No	No	+	No
		Posterior	No	No	–	No
		Proximal	No	No	No	+
		Distal	No	No	No	–
		Tibial	Aumento de pendiente posterior	No	No	+
Axial	Femoral	Rotación interna	No	+	+	No
		Rotación externa	+	No	+	No

ATR: artroplastia total de rodilla.

puede originar una asimetría en los espacios como ya se ha referido, causa de inestabilidad y mal resultado clínico. El hecho de que la TG sea menos dependiente de la anatomía ósea ha favorecido que últimamente sea recomendada^{23,24}.

Al menos a corto plazo no se han encontrado diferencias en los resultados entre ambas^{25,26}. Dos metaanálisis que han analizado 8 artículos el primero y 25 el segundo, no han mostrado diferencias^{27,28}. Cada cirujano debe adoptar habitualmente la técnica que le resulte más fácil y cómoda, aunque debe conocer que en algunas situaciones deberá modificar su práctica, por lo que el conocimiento de ambas es perentorio. Lo correcto sería pues utilizar ambas, en lo que se ha denominado últimamente técnica individualizada²⁹.

Como ayuda, tanto en la MR como en la TG, la navegación ha mostrado su eficacia. Bien como técnica de aprendizaje, de simulación quirúrgica, como aportando instrumentación en la técnica operatoria, la navegación se ha introducido plenamente en el arsenal del implante de una ATR. La navegación comenzó su andadura en los primeros años de este siglo como apoyo para realizar correctamente las resecciones óseas. Su utilidad para conocer el eje mecánico de la extremidad antes y después del implante de la ATR fue la razón que se argüía para utilizar los primeros navegadores y efectivamente conseguía disminuir los *outliers*³⁰. Con el paso del tiempo la navegación ha mostrado su verdadera utilidad en la indicación y evaluación de la situación ligamentosa de la rodilla, para conseguir un espacio correcto en flexión y extensión, y para comprobar la situación cinemática de la ATR en todo el arco de movilidad. Al ofrecer una visión dinámica de la rodilla, permite orientar y después evaluar la técnica, lo que antes solo podía realizarse y de manera estática en el postoperatorio. A pesar de que a medio o largo plazo no se ha podido demostrar una clara mejoría de los resultados clínicos, todos los autores reconocen que la navegación mejora la posición de los implantes, sobre todo ante alteraciones anatómicas previas y deformidades angulares o rotacionales^{31,32}. Aun queda por evaluar los resultados de las ATR implantadas con los modernos sistemas de navegación en los que el tratamiento de las partes blandas constituye su interés más valioso (fig. 3). Las ventajas de ser una técnica individualizada³³ permite implantar la artroplastia de manera personalizada, —esta concreta prótesis en este concreto paciente—, comprobar cuál es el comportamiento de los ligamentos a lo largo de todo el arco de movilidad de la rodilla^{34–37} y confirmar la corrección en las resecciones óseas (fig. 4). Con la aparición de esta técnica y sus sucesivas mejoras, se ha abierto un amplio campo de investigación en la cinemática de la rodilla que en el futuro puede modificar profundamente nuestros conocimientos^{38,39}.

La alineación mecánica como objetivo de una correcta técnica quirúrgica

Se considera que el inicio de la actual técnica del implante de las artroplastias de rodilla comenzó en la década de los años 70 del pasado siglo. Debe reconocerse que hasta entonces el implante de una prótesis de rodilla era puramente artesanal. Los materiales y diseños eran rudimentarios y los resultados no podían considerarse satisfactorios. No obs-

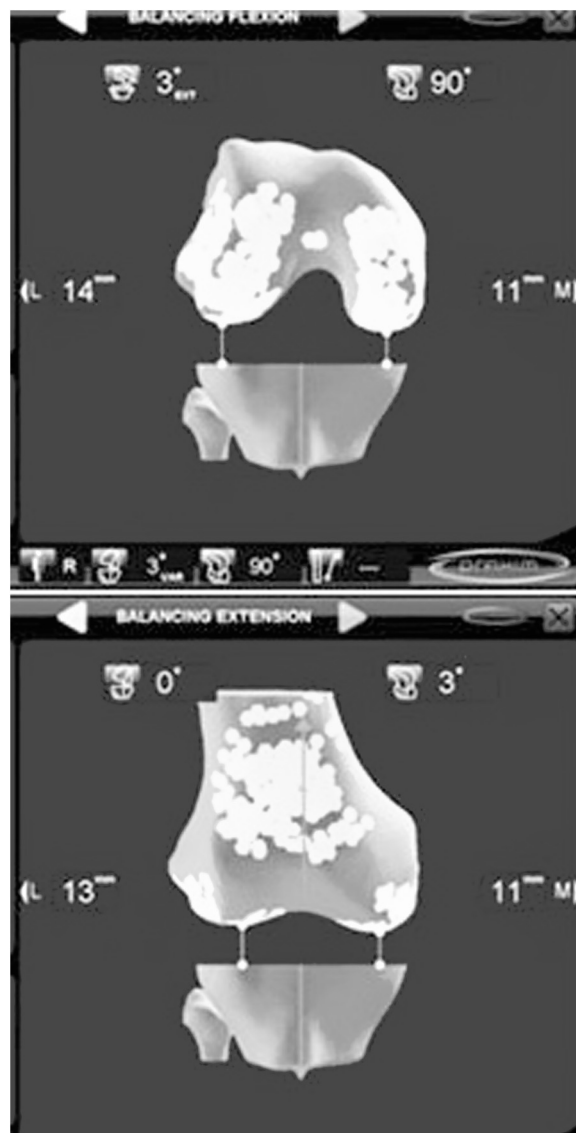


Figura 3 Balance ligamentoso en flexión y extensión realizado con navegación. Mediante la liberación de las partes blandas debe perseguirse un «gap» femorotibial simétrico medial-lateral y en flexión-extensión.

tante, ya entonces se prestaba gran atención a la alineación del implante sobre las estructuras óseas resecaadas y a la alineación resultante de la extremidad, de tal manera que puede decirse que la historia de las ATR ha seguido, en buena medida, los pasos de los diseños de instrumentales que pretendían una adecuada alineación.

En aquellos años Freeman et al.⁴⁰ desarrollaron un modelo de ATR que priorizaba la estabilidad del implante sobre la función anatómica. Se reseocaban los ligamentos cruzados y puede decirse que fue el primer modelo de ATR con una instrumentación reglada, aunque evidentemente deficiente. Estos autores ya recomendaban la realización de los cortes óseos a 90° en el plano coronal, pero la ausencia de una instrumentación adecuada casi nunca lo conseguía. Sus primeros casos, 69 ATR implantadas entre 1970 y 1972, mostraban resultados aceptables, pero la ausencia de una



Figura 4 Planificación de posición, cortes necesarios y tamaño de los componentes con técnica de navegación.

buena alineación y la calidad de los materiales supusieron un fracaso a corto plazo.

Hungerford y Krackow⁴¹ desarrollaron en la década de los 80 del pasado siglo nuevos modelos de artroplastias e introdujeron el concepto de alineación anatómica (AA); su objetivo era recrear la línea articular. Esta alineación seguía el eje anatómico del fémur y de la tibia recomendándose practicar una osteotomía oblicua con 3° de valgo femoral y 3° de varo tibial^{16,42}.

Insall et al.⁴³ fueron de los primeros cirujanos que valoraron el eje mecánico de la extremidad para el implante de una ATR, teniendo como principal objetivo conseguir unos espacios paralelos y similares en flexión y extensión de la rodilla⁴⁴. Perseguían consecuentemente obtener un ángulo cadera-rodilla-tobillo de $180 \pm 3^\circ$ con 3° de rotación externa del componente femoral. Esta simetría de las cargas evitaría el desgaste asimétrico de la plataforma de polietileno, complicación por entonces frecuente y catastrófica⁴⁵. El concepto del centro de la cabeza femoral como referencia⁴⁶ y el diseño de instrumentales que intraoperatoriamente perfilaban el eje mecánico⁴⁷ fueron indudablemente los responsables de los mejores resultados.

Hoy se sabe que el eje coronal de la rodilla debe mantener una angulación entre 3 y 7,5° de valgo. El componente femoral de la ATR debe situarse entre 2 y 8° en el plano coronal (algunos autores admiten hasta 12°⁴⁸) y entre 0 y 3° en el sagital; en la tibia el eje coronal se sitúa a 90° y el sagital entre 0 y 7°. Por su parte la rotación del componente femoral y tibial debe oscilar entre 2 y 5° de rotación externa⁴⁹. Basándose en estos datos todas las instrumentaciones disponibles permiten realizar los cortes óseos dentro de estos parámetros.

El eje mecánico ha sido considerado el «gold standard» durante décadas, y recoge el eje de la extremidad completa desde la cadera al tobillo. Conjugaba a su vez el eje mecánico del fémur formado por una línea recta que se origina en el centro de la cabeza femoral y acaba en el centro de la región intercondílea y el eje mecánico de la tibia desde el centro de la meseta tibial al centro del tobillo. Así la

interlínea articular se mantendría perpendicular al eje mecánico y paralela al suelo.

En una extremidad mecánicamente neutra los ejes mecánicos del fémur y tibia forman un ángulo de 180° como antes referíamos, pero ciertamente este eje solo es neutro en un mínimo porcentaje de la población, por lo que ha sido puesto en cuestión como luego veremos. Para conocer esta llamada alineación mecánica (AM) debe realizarse una tomografía computarizada o una radiografía que abarque toda la extremidad, incluyendo cadera, rodilla y tobillo⁵⁰. Es llamativa la extensa bibliografía que se publica sobre resultados de ATR basándose en radiografías cortas, lo que supone que ni la posición mecánica de los componentes ni el eje final de la extremidad ha sido analizado^{51,52}. A lo máximo que podría aspirarse mediante una radiografía corta que incluya solo la rodilla, sería a sospechar la AA definida ya anteriormente. Pero el eje anatómico no predice el eje mecánico, por lo que es una medición inútil para comprobar la alineación coronal o sagital del implante^{53,54}. Solo como control periódico podría aceptarse la radiografía corta pero nunca para estudios sobre alineación de la ATR^{55,56}.

Los instrumentales convencionales para el implante de una ATR permiten realizar el corte femoral en proyección coronal con una angulación en valgo predeterminada en relación con el eje anatómico. No obstante se han encontrado grandes diferencias entre el eje anatómico y el mecánico femoral que oscilan, como antes escribíamos, entre los 2° y los 12,5°⁵⁷. Eso supone que con la técnica estándar se adapta el paciente a la instrumentación y no la instrumentación al paciente, que sería lo recomendable. Sin el conocimiento del eje mecánico real e individual la decisión de esa angulación es subjetiva por parte del cirujano. Solo algunas técnicas como la robótica y la navegación permitirían realizar las osteotomías con la angulación exacta ya que en estas técnicas el eje mecánico es conocido a través de las referencias del centro de rotación de la cabeza femoral, del centro de la rodilla y del centro del tobillo⁵⁸. Por otra parte, la instrumentación estándar, sobre todo cuando se utilizan guías extramedulares, tiene sus limitaciones y permite burdos errores^{59,60}. No obstante nadie duda de que con una técnica estándar puede conseguirse un correcto espacio rectangular en flexión y en extensión a través de la resección ósea ortogonal que dichos instrumentos permiten.

Pero la AM obtenida con instrumentación convencional, tiene además otros inconvenientes. Este tipo de alineación es exclusivamente estática, en reposo, no conocemos lo que supone cinemáticamente. Además, hoy se asume que es necesaria una tensión uniforme de las partes blandas alrededor de la rodilla tanto en flexión como en extensión. Este es el concepto de «equilibrio de tejidos blandos». Es importante saber que la colocación de los componentes de la ATR afecta a las tensiones en los tejidos blandos y que ello es aún más importante que conseguir una AM perfecta. Este concepto es el origen de la denominada técnica *Gap Balancing* (GB) ya definida en esta Actualización en la que después de realizar la resección femoral se liberan los tejidos blandos laterales y mediales hasta conseguir una separación uniforme entre fémur y tibia tanto en flexión como en extensión.

Transcendencia de la alineación neutra. Varo constitucional

La mala alineación del implante, como ya hemos referido, es una causa conocida del fracaso de la ATR que acaba desembocando en una cirugía de revisión o al menos en unos pobres resultados clínicos y funcionales^{61,62}.

Para que la colocación de una ATR pueda considerarse técnicamente correcta debe conseguirse la alineación de la extremidad en 6 dimensiones⁶³. Las primeras 3 se definen de manera estática en el plano coronal, sagital y axial. La cuarta dimensión atiende al posicionamiento proximal-distal del implante. Además, estas dimensiones tienen que reflejar la cinemática apropiada, tanto en carga como sin soporte de peso y, por último, toda la construcción debe ser estable en el tiempo, lo que se expresa como longevidad.

El buen alineamiento de cada componente protésico en los 3 planos, coronal, sagital y axial era hasta hace unos años, un requisito aceptado globalmente. Se consideraba que el alineamiento estático, siguiendo el eje mecánico, era una exigencia primordial, concepto que como veremos se está discutiendo recientemente, de tal manera que han surgido dudas sobre su verdadera importancia⁶⁴.

Aunque hace más de 10 años aparecieron trabajos que pretendían rebajar la relación directa entre la defectuosa alineación y los fracasos asépticos⁶⁵ fue el trabajo de Parratte et al. en 2010⁶⁶ el que de manera un tanto sorprendente mostraron que la obtención de un eje mecánico postoperatorio neutro, o sea $\pm 3^\circ$, no estaba vinculada a la mayor supervivencia del implante. Estos autores revisaron los resultados de 400 ATR cementadas e implantadas con una antigüedad de 15 años. Compararon 292 que mostraban un eje mecánico correcto con 106 que presentaban errores en el mismo. Del primer grupo se habían revisado quirúrgicamente el 15,4% y del segundo el 13%. Según estos autores sus resultados no indicarían que sea intrascendente conseguir una correcta alineación, sino que influyen además otros factores para el fracaso de la ATR que pueden ser incluso más importantes. Tras este premonitorio trabajo, diferentes autores⁶⁷⁻⁶⁹ han repetido estos mismos resultados en contraposición a otros^{49,70} que siguen insistiendo en la imprescindible alineación neutra. Esta controversia se mantiene hasta hoy, aunque es preciso subrayar algunos hechos. Debe aclararse en primer lugar que en los trabajos donde se muestran buenos resultados en ATR con defectos de alineación, esta mala alineación es muy limitada, de solamente algunos grados y que, en síntesis, los propios autores concluyen que no solo los defectos de la alineación son los responsables de los fracasos de estos implantes, lo cual es cierto y mayoritariamente aceptado^{71,72}. Se conoce que algunos factores como la alineación postoperatoria exagerada en varo⁷³⁻⁷⁵, un índice elevado de masa corporal⁷⁶ o una excesiva deformidad preoperatoria^{77,78} son los responsables de una menor supervivencia de la ATR. Algo parecido sucede con la rotación del componente femoral; pequeñas variaciones no modifican los resultados clínicos^{79,80}, lo que sucede invariablemente si existe una malposición grosera de ese componente⁸¹.

Históricamente, como antes escribíamos, se ha considerado que el eje mecánico coronal debía situarse en $0 \pm 3^\circ$ y se han venido publicando los resultados de las ATR con

esta condición e incluso considerando a esa alineación un valor predictivo de resultados⁸². No obstante el eje «nativo» de la rodilla casi nunca es ese. Para algunos grupos el llamado «varo constitucional», debe ser reproducido tras el implante de una ATR y no parece que ello desencadene peores resultados³.

En la rodilla nativa, la superficie de la tibia tiene unos 3° de varo (de 1 a 5°) y el fémur 3° de valgo (de 0 a 4°) a diferencia del eje mecánico ideal, conformando una interlínea oblicua en posición bípoda que a su vez se convierte en una línea paralela al caminar y balancear la extremidad al apoyar una sola pierna.

El llamado «varo constitucional» es muy frecuente como desencadenante de la artrosis de rodilla, y de hecho se considera que una parte importante de la población (más del 30% de los varones y el 17% de las mujeres) tiene un varo constitucional superior a los 3° lo que aconseja, para algunos autores, mantener este varo tras la ATR y no perseguir un eje mecánico neutro a toda costa⁸³. En estos casos para conseguir un AM correcto se necesitan diferentes gestos quirúrgicos y liberaciones de partes blandas. Es cierto que la restauración hasta un alineamiento neutro no puede considerarse «natural» y puede efectivamente ocasionar una gran tensión en los ligamentos²⁹.

Tras estos hallazgos hay que reconocer que lo que se consideraba una verdad aceptada en cuanto a la necesidad imperiosa de conseguir una AM neutra se ha modificado. Incluso algunos autores⁸⁴ encuentran mejores resultados funcionales cuando se mantienen un varo residual en ATR implantadas en pacientes con artrosis en varo, aunque desde luego siempre respetando la selección correcta de los pacientes como luego analizaremos⁸⁵.

Una encuesta realizada a 300 cirujanos de 32 países hace unos años⁸⁶ reveló que la mayoría se inclinaban hacia la alineación neutra, aunque reconocían que un ligero varo era aceptable en los pacientes con un varo constitucional. Para el conjunto de los encuestados el objetivo de este procedimiento era conseguir una interlínea articular paralela al suelo y una línea de carga que atravesara el centro de la artroplastia.

La alineación cinemática como réplica a la alineación mecánica

De estos conceptos parten en buena medida los defensores de la alineación cinemática (AC), también llamado alineamiento constitucional, que ha introducido controversias en un capítulo que se consideraba cerrado: la deseada alineación neutra del implante.

La AC fue recomendada primeramente por Howell et al. en 2006⁸⁷ y persigue reconstruir el eje de la extremidad previo al implante de la ATR, definido como el eje «pre artroscópico». Consideran estos autores y los posteriores valedores de este tipo de alineamiento que la reconstrucción del eje de la extremidad debe seguir el eje nativo, que es en muchos casos diferente del eje neutro que persigue la AM. De esta manera se evitarían liberaciones de partes blandas al no crear desbalance y asimetría del gap fémoro-tibial. Ello se consigue realizando resecciones simétricas de los cóndilos femorales y de las mesetas tibiales medial y lateral habiendo compensado el desgaste propio de la artrosis. Para realizar

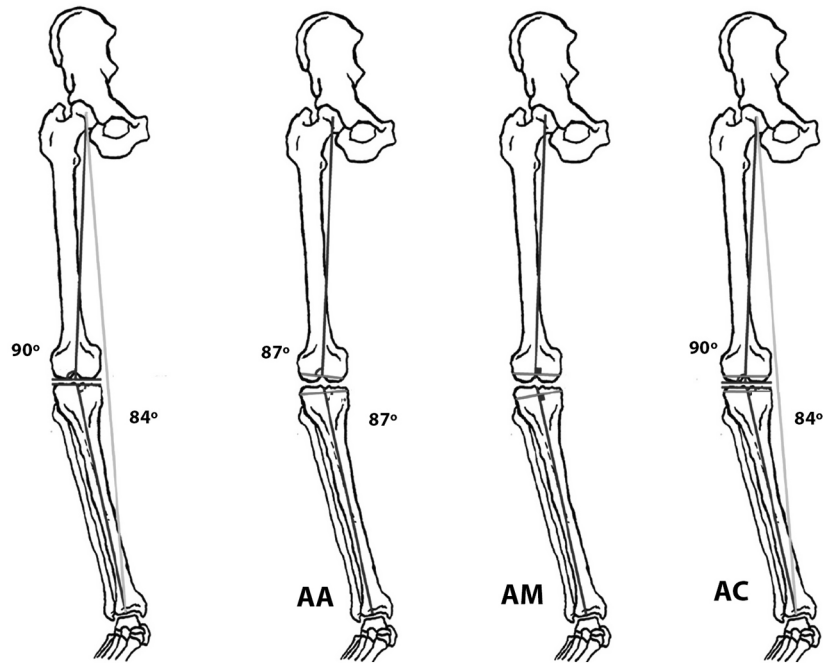


Figura 5 Rodilla nativa en varo y alineación anatómica (AA), mecánica (AM) y cinemática (AC). Se observa la diferente orientación y grosor de la osteotomía tibial y femoral entre los tres tipos de alineación.

esta alineación puede manejarse técnica con navegación, con plantillas individualizadas o con instrumentos manuales ayudándose de calibradores para ejecutar y medir las resecciones óseas. La mayor complicación referida a esta técnica es precisamente esa, que los cortes tibial y femoral no se realicen adecuadamente.

El objetivo, común con otros tipos de alineamiento, sería conseguir menos dolor y mejor función en la nueva articulación. Sus defensores insisten en que esta técnica persigue restaurar los 3 ejes de la rodilla: eje transepicondileo por el que se flexiona la tibia sobre el fémur localizado en el centro de un círculo sobre los cóndilos femorales, el eje transversal del fémur por el que se desliza la patela en la flexión y extensión de la rodilla y el eje longitudinal de la tibia por el que la tibia rota interna y externamente sobre el fémur⁴².

Los 3 principios de la AC, por tanto, son restaurar las superficies articulares de fémur y tibia, restaurar el alineamiento nativo de la rodilla y restaurar las laxitudes originarias de esa articulación²⁹. La AC busca colocar el implante recreando la anatomía previa de la rodilla y de esta manera se evitarían las liberaciones de las partes blandas y mejoraría el balance ligamentoso debido a que la posición del implante sería más cercana a la anatomía individual del paciente. En síntesis, mientras en la AM la rodilla se adapta a la ATR, en la AC la ATR se adaptaría a la situación previa de la rodilla (fig. 5). La AC podría asemejarse a la artroplastia de cadera de superficie, el cirujano solo retira la superficie de la estructura articular y en su lugar implanta la prótesis, restaurando el alineamiento preartroscópico de la rodilla, sin aportar correcciones en el plano óseo⁴⁵. Siguiendo estos conceptos se han diseñado nuevos modelos de artroplastias y se ha abierto una pugna comercial que se mantiene y que favorece posibles sesgos en los resultados. Por otra

parte, la AC se beneficia de los mejores y más duraderos materiales como los nuevos polietilenos; las complicaciones de este tipo derivadas de una deficiente alineación mecánica ya no son tan determinantes como hace unos años⁸⁸.

Las indicaciones de la AC no están perfectamente definidas; así como no todos los pacientes tienen una alineación neutra en la rodilla nativa, no todos los pacientes tienen un varo constitucional⁸⁹. La indicación ideal sería pacientes donde los cortes tibial y femoral pueden realizarse manteniéndose dentro de $\pm 5^\circ$ del eje mecánico y el eje cadera-rodilla-tobillo dentro de $\pm 3^\circ$. Estos condicionantes se denominan «zona segura». Debido precisamente a que los defensores de la AC reconocen que no es útil en todos los casos, se ha acuñado el término de alineación cinemática restrictiva (ACR).

Más recientemente aún se ha descrito la alineación funcional (AF)¹⁶ que, siendo similar a la ACR, usa imágenes intraoperatorias con navegación para conseguir adaptar el implante en flexión y extensión e igualar el *gap* articular (tabla 2). Para Oussedik et al.⁹⁰, la AM olvida las partes blandas y se centra solo en obtener una interlínea paralela al suelo, mientras que la AC se olvida del entorno mecánico. La AF se define como una técnica híbrida entre ambas, que se basa en la visión cinemática de la rodilla mediante navegación. Manualmente se fuerza la rodilla en varo o valgo para corregir la deformidad; esto permite que el sistema de navegación halle el tamaño de las brechas potenciales, tanto en extensión como en flexión. Se comprueba en primer lugar el grosor de la resección y la amplitud de los espacios articulares. Una vez que se han resecado los osteofitos se evalúa intraoperatoriamente la alineación de la extremidad permitiéndose una corrección en el plano coronal bajo visión con navegación. No solo se valora la alineación estática en

Tabla 2 Angulación recomendada en los diferentes tipos de alineación (entre paréntesis intervalo permitido)

	Rodilla nativa	Alineación mecánica	Alineación cinemática	Alineación funcional
Fémur	+2° (±2°)	0°	0° (±3°)	0° (±3°)
Tibia	-3° (±2°)	0°	-6° a +9°	0° (±3°)
ACR	-1,3° (±2,5°)	0°	Variable	0° (±3°)

ACR: ángulo cadera-rodilla.

Tabla 3 Ventajas y desventajas de la alineación mecánica y cinemática

	Alineación mecánica	Alineación cinemática
Ventajas	Familiaridad de la técnica Reproductibilidad Resultados conocidos a largo plazo Instrumentación acorde y habitual Diseño de los implantes	Restauración de la tensión de ligamentos nativos Menos dolor residual ^a Aumento de la función y movilidad de la rodilla ^a Mayor rapidez en la recuperación ^a
Desventajas	Dudas en cuanto a la mejor orientación de la interlínea Un 20% de pacientes insatisfechos Alineamiento rotacional comprometido Modificación de la longitud de los ligamentos Dificultades para igualar espacio en flexión y extensión	Imprecisión de cortes óseos en deformidades severas Problemas con el deslizamiento del aparato extensor Necesidad de implantes específicos Desconocimiento de resultados a largo plazo

^a Hallazgos heterogéneos en la literatura.Fuente: modificado de Mercury et al.²².

extensión sino la dinámica a lo largo de todo el arco del movimiento.

Resultados comparativos entre alineación mecánica y alineación cinemática

Existe actualmente una profunda controversia en la literatura entre los defensores de la AM y la AC. Para los primeros la anatomía del paciente se debe adaptar a los implantes artroplásticos, para los segundos la posición de los implantes debe adaptarse a la anatomía individual de la rodilla. Esto no es valorable ante situaciones anatómicas extremas en cuyo caso la alineación cinemática tiene sus limitaciones, como ya escribíamos antes.

Como ventajas de la AC se citan en la literatura la menor resección ósea y la menor necesidad de liberaciones tendinosas⁹¹. Por el contrario, los detractores de la AC le achacan la asimetría de las cargas en la deambulación, la necesidad de utilizar una instrumentación específica con navegación o plantillas individuales de corte para obtener una correcta alineación, las dificultades para el deslizamiento rotuliano y la imposible restauración del alineamiento ante grandes deformidades en varo-valgo⁹² (tabla 3).

Esta última dificultad ha sido la causante de la ya referida ACR⁹³. En algunos pacientes la recreación de la rodilla nativa puede tener consecuencias negativas para la mecánica y desgaste de los componentes de la ATR. Un rango seguro se ha propuesto en estos casos como ya se ha referido anteriormente⁹⁴.

Se han publicado múltiples reportes comparando AM y AC tanto en cuanto a la función de la rodilla como a la evolución clínica y a los fracasos de ambas. El primer estudio fue publicado por Nogler et al.⁹⁵, en 2012 realizado en cadáveres. Trabajos posteriores atribuyen a la AC un mejor comportamiento de la marcha^{96–98}, aunque otros no encuentran grandes diferencias entre AC y AM^{99–104}. Por su parte la ACR ha mostrado mejores resultados que la AM, pero con un año de seguimiento¹⁰⁵.

Intentando dilucidar esa discrepancia en la literatura, se han publicado en los últimos años algunos metaanálisis y revisiones sistemáticas comparando AM y AC (tabla 4). Lee et al. en 2017¹⁰⁶ publicaron una revisión sistemática comparando ambos tipos de alineación. Fueron analizados 9 trabajos con resultados clínicos y radiográficos de pacientes con AC y con AM. Con un seguimiento de 2 años la AC ofreció mejores o iguales resultados que la AM. Otra revisión sistemática también de ese año mostro mejores resultados para la AC¹⁰⁷. En esa misma fecha Li et al.¹⁰⁸, publicaron un metaanálisis incluyendo 6 artículos con 561 pacientes y con un seguimiento entre 6 y 34 meses. Los resultados funcionales y la flexión de la rodilla fueron superiores con la AC, pero solo considerando seguimientos con ese corto plazo. También en el año 2017 Riviere et al.¹⁰⁹, publicaron una revisión sistemática sobre 13 trabajos con los mismos resultados y similar tiempo de seguimiento. Un metaanálisis de Woon et al., en 2018¹¹⁰ evaluaron 4 artículos, no apreciando diferencias entre ambos sistemas de alineación, pero también a corto plazo. En el estudio de Takahashi et al.¹¹¹, se revelaron mejores resultados para la AC, mientras que para Hiyama et al.¹¹² en una revisión más reciente los resultados fueron

Tabla 4 Revisiones sistemáticas y metaanálisis comparando resultados entre AM y AC

Autores	Año	Trabajos revisados	Resultados
Lee et al. ¹⁰⁶	2017	9	Similar
Courtney y Lee ¹⁰⁷	2017	9	Mejor AC
Li et al. ¹⁰⁸	2017	6	Mejor AC
Riviere et al. ¹⁰⁹	2017	13	Mejor AC
Woon et al. ¹¹⁰	2018	4	Similar
Takahashi et al. ¹¹¹	2018	5	Mejor AC
Hiyama et al. ¹¹²	2020	4	Similar
Roussot et al. ¹¹³	2020	15	Similar

AC: alineación cinemática; AM: alineación mecánica.

similares. Otra revisión sistemática que ya analizó 15 artículos publicados entre 2012 y 2020¹¹³ concluye afirmando que, tras el análisis de la literatura, la AC origina unos resultados equivalentes a la AM sin un aumento de los fracasos considerando ello como una «evidencia convincente».

Intentando sintetizar la literatura comparando ambos tipos de alineamiento puede decirse que a corto plazo los resultados clínicos de la AM y la AC son similares, incluso muestran alguna diferencia positiva para la AC. Ciertamente el hecho de que en algunos trabajos existan intereses comerciales desvirtúan los resultados y falta una evaluación a largo plazo para este tipo de alineación. Es sospechoso que los metaanálisis estén realizados en su mayor parte por defensores de la AC. Así como para la AM los resultados conocidos tienen un seguimiento a largo plazo y han sido diseñados por autores de distinta precedencia, para la AC el seguimiento es corto y se desconoce cómo influirá en los resultados un seguimiento mayor¹¹⁴. Es posible que la aportación de las nuevas tecnologías¹¹⁵ consiga aclarar cuál es el mejor sistema de alineación. Mientras tanto conseguir una alineación neutra debe ser el objetivo del implante de una ATR.

Conclusiones

Con los conocimientos que hasta ahora poseemos no puede recomendarse la utilización rigurosa de un tipo u otro de alineamiento. La consecución del eje mecánico se ha mostrado a lo largo de los años como un objetivo de la instrumentación en las ATR. Los resultados conseguidos a largo plazo con esta técnica son conocidos y han colocado a la ATR como un procedimiento exitoso. Conseguir un reparto de cargas simétrico ha evitado el desgaste de los componentes y su hundimiento. Intentando disminuir el porcentaje de pacientes que no se muestran completamente satisfechos tras la ATR, y considerando la frecuencia del varo constitucional se han divulgado en los últimos años otros sistemas de alineación. La AC persigue la colocación de la artroplastia sin modificar el eje preoperatorio de la extremidad a modo de superficialización, sin intervenir sobre el aparato ligamentoso. La comparación de resultados entre ambos tipos de alineamiento no puede efectuarse seriamente por la diferencia en los periodos de seguimiento de los casos. La alineación funcional, recientemente descrita, es una técnica híbrida entre la AM y la AC. Es posible que el alineamiento funcional sea clave para obtener mejores resultados, pero la bibliografía aun es escasa y se necesita

el apoyo de técnicas que permitan asegurar la corrección de las resecciones óseas. No puede afirmarse que el implante de una ATR haya dejado de ser una técnica ósea para convertirse en un procedimiento de partes blandas, pero al menos debe reconocerse que las liberaciones ligamentosas son tan esenciales como las resecciones óseas. Un cirujano debe conocer y realizar correctamente tanto las resecciones óseas como las liberaciones de partes blandas hasta conseguir una rodilla estable y cinemáticamente ajustada.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Jenkins PJ, Clement ND, Hamilton DF, Gaston P, Patton JT, Howie CR. Predicting the cost-effectiveness of total hip and knee replacement. A health economic analysis. *Bone Joint J.* 2013;95B:115–21.
- Evans JT, Walker RW, Evans JP, Blom AW, Sayers A, Whitehouse MR. How long does a knee replacement last? A systematic review and meta-analysis of case series and national registry reports with more than 15 years of follow-up. *The Lancet.* 2019;393:655–63.
- Donaldson J, Joyner J, Tudor F. Current controversies of alignment in total knee replacements. *Open Orthop J.* 2015;9 Suppl 2M6:489–94.
- Seo JH, Lee SH. Current state of total knee arthroplasty. *J Korean Med Assoc.* 2020;63:452–61.
- Nakano N, Shoman H, Olavarria F, Matsumoto T, Kuroda R, Khanduja V. Why are patients dissatisfied following a total knee replacement? A systematic review. *Int Orthop.* 2020;44:1971–2007.
- Nam, Nunley RM, Barrack RL. Patient dissatisfaction following total knee replacement. A growing concern? *Bone Joint J.* 2014;96B Suppl A:96–100.
- White PB, Turcan S, Satalich JR, Ranawat AS, Ranawat CS. Clinical outcomes of a modern total knee arthroplasty prosthesis compared to its predecessor at 5-year follow-up: Matched pair analysis. *J Arthroplasty.* 2020;35:3150–5.
- Robertsson O, Dunbar M, Pehrsson T, Knutson K, Lidgren L. Patient satisfaction after knee arthroplasty. A report on 27,372 knees operated on between 1981 and 1995 in Sweden. *Acta Orthop.* 2020;91:241–2.
- Kim Y-H, Park J-W, Jang Y-S. 20-year minimum outcomes and survival rate of high-flexion versus standard total knee arthroplasty. 2020;S0883–5403:30879–82, <http://dx.doi.org/10.1016/j.arth.2020.07.084>.

10. Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, Mahomed NN, Charron KDJ. Patient satisfaction after total knee arthroplasty Who is satisfied and who is not? *Clin Orthop Related Res.* 2010;468:57–63.
11. Li CY, Cheong Chung KJN, Ali OME, Chung NDH, Li CH. Literature review of the causes of pain following total knee replacement surgery: Prosthesis, inflammation and arthrofibrosis. *Effort Open Rev.* 2020;5:534–43.
12. Sharkey PF, Hozack WJ, Rothman RH, Shastri A, Jacoby SM. Why are total knee arthroplasties failing today? *Clin Orthop Related Res.* 2002;404:7–13.
13. Verstraete MA, Moore RE, Roche M, Conditt MA. The application of machine learning to balance a total knee arthroplasty. *Bone Joint Open.* 2020;236–44.
14. Meneghini RM, Ziemba-DavisMM, Lovro LL, Ireland PH, Damer BM. Can intraoperative sensors determine the “target” ligament balance? *Early Outcomes in Total Knee Arthroplasty. J Arthroplasty.* 2016;31:2181–7.
15. Wood TJ, Winemaker MJ, Williams DS, Petruccioli DT, Tushinski DM, de Beer@de V. Randomized controlled trial of sensor-guided knee balancing compared to standard balancing technique in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2020;S0883–5403:31036–46, <http://dx.doi.org/10.1016/j.arth.2020.09.025>.
16. 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.
17. Skowronek P, Arnold M, Starke C, Bartyzel A, Moser LB, Hirschmann MT. European Knee Associates (EKA) Intra- and postoperative assessment of femoral component rotation in total knee arthroplasty: An EKA knee expert group clinical review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020, <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-020-06006-4>.
18. Daines BK, Dennis DA. Gap balancing vs. measured resection technique in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Surg.* 2014;6:1–8.
19. Victor J. Optimizing position and stability in total knee arthroplasty. *EFORT Open Rev.* 2017;2:215–20.
20. Sabbioni G, Rani N, del Piccolo N, Ben Ayad R, Carubbi C, Tigani D. Gap balancing versus measured resection technique using a mobile-bearing prosthesis in computer-assisted surgery. *Musculoskelet Surg.* 2011;95:25–30.
21. Churchill JL, Khlopas A, Sultan AA, Harwin SF, Mont MA. Gap-balancing versus measured resection technique in total knee arthroplasty: A comparison study. *J Knee Surg.* 2018;31:13–6.
22. Mercuri JJ, Pepper AM, Werner JA, Vigdorichik JM. Gap balancing, measured resection, and kinematic alignment: How, when, and why? *JBJS Rev.* 2019;7:e2.
23. Pang HN, Yeo SJ, Chong HC, Chin PL, Ong J, Lo NN. Computer-assisted gap balancing technique improves outcome in total knee arthroplasty, compared with conventional measured resection technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19:1496–503.
24. Huang T, Long Y, George D, Wang W. Meta-analysis of gap balancing versus measured resection techniques in total knee arthroplasty. *Bone Joint J.* 2017;99B:151–8.
25. Tigani D, Sabbioni G, Ben Ayad R, Filanti M, Rani N, Del Piccolo N. Comparison between two computer-assisted total knee arthroplasty: Gap-balancing versus measured resection technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18:1304–10.
26. Tapasvi SR, Shekhar A, Patil SS, Dipane MV, Chowdhry M, McPherson EJ. Comparison of gap balancing vs measured resection technique in patients undergoing simultaneous bilateral total knee arthroplasty: One technique per knee. *J Arthroplasty.* 2020;35:732–40.
27. Moon YW, Kim HJ, Ahn HS, Park CD, Lee DH. Comparison of soft tissue balancing, femoral component rotation, and joint line change between the gap balancing and measured resection techniques in primary total knee arthroplasty: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2016;95:e5006.
28. Migliorini F, Eschweiler J, Mansy YE, Quack V, Schenker H, Tingtart M, Driessen A. Gap balancing versus measured resection for primary total knee arthroplasty: A meta-analysis study. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2020;140:1245–53.
29. Karachalios T, Komnos GA. Individualized surgery in primary total knee Arthroplasty. *EFORT Open Rev.* 2020;5:663–71.
30. Fu Y, Wang M, Liu Y, Fu Q. Alignment outcomes in navigated total knee arthroplasty: A meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20:1075–82.
31. Hernández-Vaquero D, Suarez-Vazquez A, Sandoval-Garcia MA, Noriega-Fernandez A. Computer assistance increases precision of component placement in total knee arthroplasty with articular deformity. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468:1237–41.
32. Gothesen O, Skaden O, Dyrhovden GS, Petursson G, Furnes ON. Computerized navigation: A useful tool in total knee replacement. *JBJS Essent Surg Tech.* 2020;10:e0022.
33. Hirschmann MT, Karlsson J, Becker R. Hot topic: Alignment in total knee arthroplasty-systematic versus more individualised alignment strategies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26:1587–8.
34. Hutt JR, LeBlanc MA, Massé V, Lavigne M, Vendittoli PA, Kinematic TKA. using navigation: Surgical technique and initial results. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016;102:99–104.
35. Petursson G, Fenstad AM, Gøthesen Ø, Dyrhovden GS, Hallan G, Röhrli SM, et al. Computer-assisted compared with conventional total knee replacement: A multicenter parallel-group randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100:1265–74.
36. Dai Y, Bolch C, Jung A, Hamad C, Angibaud L, Stulberg BN, et al. Accuracy and precision in resection alignment: Insights from 10,144 clinical cases using a contemporary computer-assisted total knee arthroplasty system. *Knee.* 2020;27:1010–7.
37. Chia ZY, Pang HN, Tan MH, Yeo SJ. Gap difference in navigated TKA: A measure of the imbalanced flexion-extension gap. *SICOT J.* 2018;4:30.
38. Young KL, Dunbar MJ, Richardson G, Astephen Wilson JL. Intraoperative passive knee kinematics during total knee arthroplasty surgery. *J Orthop Res.* 2015;33:1611–9.
39. Larrainzar-Garijo R, Murillo-Vizuete D, Garcia-Bogalo R, Escobar-Anton D, Horna-Castiñeiras L, Peralta-Molero JV. Dynamic Alignment Analysis in the Osteoarthritic Knee Using Computer Navigation. *J Knee Surg.* 2017;30:909–15.
40. Freeman MA, Swanson SA, Todd RC. Total replacement of the knee using the Freeman-Swanson knee prosthesis. *Clin Orthop Relat Res.* 1973;94:153–70.
41. Hungerford DS, Krackow KA. Total joint arthroplasty of the knee. *Clin Orthop Relat Res.* 1985;192:23–33.
42. Schiraldi M, Bonzanin Gi, Chirillo D, de Tullio V. Mechanical and kinematic alignment in total knee arthroplasty. *Ann Transl Med.* 2016;4:130.
43. Insall JN, Binazzi R, Soudry M, Mestriner LA. Total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1985;192:13–22.
44. Hirschmann MT, Becker R, Tandogan R, Vendittoli PA, Howell S. Alignment in TKA: What has been clear is not anymore! *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27:2037–9.
45. Nisar S, Palan J, Rivière C, Emerton M, Pandit H. Kinematic alignment in total knee arthroplasty. *EFORT Open Rev.* 2020;5:380–90.
46. Alazzawi S, Field MH, Bardakos NV, Freeman MA, Field RE. The position of the centre of the femoral head relative to the midline of the pelvis: A consistent landmark in total knee replacement surgery. *Knee.* 2012;19:827–31.
47. Kracow KA. The technique of total knee arthroplasty St Louis: The C.V. Mosby Company. 1990.

48. Abdel MP, Oussedik S, Parratte S, Lustig S, Haddad FS. Coronal alignment in total knee replacement: Historical review, contemporary analysis, and future direction. *Bone Joint J.* 2014;96B:857–62.
49. Kim YH, Park JW, Kim JS, Park SD. The relationship between the survival of total knee arthroplasty and postoperative coronal, sagittal and rotational alignment of knee prosthesis. *Int Orthop.* 2014;38:379–85.
50. Nam D, Vajapey S, Nunley RM, Barrack RL. The impact of imaging modality on the measurement of coronal plane alignment after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2016;31:2314–9.
51. Park A, Stambough JB, Nunley RM, Barrack RL, Nam D. The inadequacy of short knee radiographs in evaluating coronal alignment after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2016;31:878–82.
52. Gielis WP, Rayegan H, Arbabi V, Ahmadi Brooghani SY, Lindner C, Cootes TF, et al. Predicting the mechanical hip-knee-ankle angle accurately from standard knee radiographs: A cross-validation experiment in 100 patients. *Acta Orthop.* 2020;22:1–6.
53. Lee SA, Choi SH, Chang MJ. How accurate is anatomic limb alignment in predicting mechanical limb alignment after total knee arthroplasty? *BMC Musculoskelet Disord.* 2015;16:323.
54. Stickley CD, Wages JJ, Hetzler RK, Andrews SN, Nakasone CK. Standard radiographs are not sufficient for assessing knee mechanical axis in patients with advanced osteoarthritis. *J Arthroplasty.* 2017;32:1013–7.
55. Jessup DE, Worland RL, Clelland C, Arredondo J. Restoration of limb alignment in total knee arthroplasty: Evaluation and methods. *J South Orthop Assoc.* 1997;6:37–47.
56. Tammachote N, Kriengburapha N, Chaiwuttisak A, Kanitnate S, Boontanapibul K. Is regular knee radiograph reliable enough to assess the knee prosthesis position? *J Arthroplasty.* 2018;33:3038–42.
57. Gromov K, Korchi M, Thomsen MG, Husted H, Troelsen A. What is the optimal alignment of the tibial and femoral components in knee arthroplasty? *Acta Orthop.* 2014;85:480–7.
58. Maderbacher G, Keshmiri A, Schaumburger J, Zeman F, Birkenbach AM, Craiovan B, et al. What is the optimal valgus pre-set for intramedullary femoral alignment rods in total knee arthroplasty? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25:3480–7.
59. Maestro A, Harwin SF, Sandoval MG, Vaquero DH, 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.
60. Assi C, Mansour J, Samaha C, Kouyoumdjian P, Yammine K. Angular limit for coronal joint deformity correction using intramedullary guidance in total knee arthroplasty. A pilot study. *SICOT J.* 2020;6:22.
61. Swanson SAV, Freeman MAR. A new prosthesis for the total replacement of the knee. *Acta Orthop Belge.* 1972;38 Suppl. 1:55.
62. Werner FW, Ayers DC, Maletsky LP, Rullkoetter PJ. The effect of valgus/varus malalignment on load distribution in total knee replacements. *J Biomech.* 2005;38:349–55.
63. Sikorski JM. Alignment in total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90:1121–7.
64. Vandekerckhove PJ, Lanting B, Bellemans J, Victor J, MacDonald S. The current role of coronal plane alignment in Total Knee Arthroplasty in a preoperative varus aligned population: An evidence based review. *Acta Orthop Belg.* 2016;82:129–42.
65. Morgan SS, Bonshahi A, Pradhan N, Gregory A, Gambhir A, Porter ML. The influence of postoperative coronal alignment on revision surgery in total knee arthroplasty. *Int Orthop.* 2008;32:639–42.
66. 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;92:2143–9.
67. Bonner TJ, Eardley WG, 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;93:1217–22.
68. Stucinskas J, Robertsson O, Sirka A, Lebedev A, Wingstrand H, Tarasevicius S. Moderate varus/valgus malalignment after total knee arthroplasty has little effect on knee function or muscle strength. *Acta Orthop.* 2015;86:728–33.
69. Abdel MP, Ollivier M, Parratte S, Trousdale RT, Berry DJ, Pagnano MW. Effect of postoperative mechanical axis alignment on survival and functional outcomes of modern total knee arthroplasties with cement: A concise follow-up at 20 years. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100:472–8.
70. Huang NF, Dowsey MM, Ee E, Stoney JD, Babazadeh S, Choong PF. Coronal alignment correlates with outcome after total knee arthroplasty: Five-year follow-up of a randomized controlled trial. *J Arthroplasty.* 2012;27:1737–41.
71. Hadi M, Barlow T, Ahmed I, Dunbar M, McCulloch P, Griffin D. Does malalignment affect patient reported outcomes following total knee arthroplasty: A systematic review of the literature. *Springerplus.* 2016;5:1201.
72. Mugnai R, Zambianchi F, Digennaro V, Marcovigi A, Tarallo L, del Giovane C, Catani F. Clinical outcome is not affected by total knee arthroplasty alignment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24:3339–45.
73. Liu HX, Shang P, Ying XZ, Zhang Y. Shorter survival rate in varus-aligned knees after total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24:2663–71.
74. van Hamersveld KT, Marang-van de Mheen PJ, Nelissen RGHH. The effect of coronal alignment on tibial component migration following total knee arthroplasty: A cohort study with long-term radiostereometric analysis results. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101:1203–12.
75. Kuroda Y, Takayama K, Hayashi S, Hashimoto S, Matsushita T, Niikura T, et al. Varus deformity in the proximal tibia and immediate postoperative varus alignment result in varus progression in limb alignment in the long term after total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28:3287–93.
76. Ritter MA, Davis KE, Meding JB, Pierson JL, Berend ME, Malinzak RA. The effect of alignment and BMI on failure of total knee replacement. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93:1588–96.
77. Ritter MA, Davis KE, Davis P, Farris A, Malinzak RA, Berend ME, et al. Preoperative malalignment increases risk of failure after total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95:126–31.
78. Mullaji AB, Shetty GM, Lingaraju AP, Bhaide S. Which factors increase risk of malalignment of the hip-knee-ankle axis in TKA? *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471:134–41.
79. Babazadeh S, Dowsey MM, Vasimalla MG, Stoney JD, Choong PFM. Knee arthroplasty component malrotation does not affect function or quality of life in the short to medium term. *J Arthroplasty.* 2019;34:1382–6.
80. Hernández-Hermoso JA, Nescolarde-Selva L, Rodríguez-Montserrat D, Martínez-Pastor JC, García-Oltra E, López-Marne S. Different femoral rotation with navigated flexion-gap balanced or measured resection in total knee arthroplasty does not lead to different clinical outcomes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28:1805–13.
81. Scott CEH, Clement ND, Yapp LZ, MacDonald DJ, Patton JT, Burnett R. Association between femoral component sagittal positioning and anterior knee pain in total knee arthroplasty: A 10-year case-control follow-up study of a cruciate-retaining single-radius design. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101:1575–85.
82. Chen Z, Deng Z, Li Q, Chen J, Ma Y, Zheng Q. How to predict early clinical outcomes and evaluate the quality of primary

- total knee arthroplasty: A new scoring system based on lower-extremity angles of alignment. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21:518.
83. 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;470:45–53.
 84. Lording T, Lustig S, Neyret P. Coronal alignment after total knee arthroplasty. *EFORT Open Rev.* 2017;1:12–7.
 85. Nguyen MP, Reich MS. Is Varus the New Alignment Goal?: Commentary on an article by J.A. Kenned, et al.: Functional Outcome and Revision Rate Are Independent of Limb Alignment Following Oxford Medial Unicompartmental Knee Replacement. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101:e11.
 86. Thienpont E, Cornu O, Bellemans J, Victor J. Current opinions about coronal plane alignment in total knee arthroplasty: A survey article. *Acta Orthop Belg.* 2015;81:471–7.
 87. Howell SM, Shelton TJ, Hull ML. Implant survival and function ten years after kinematically aligned total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2018;33:3678–84.
 88. Rivière C, Lazic S, Boughton O, Wiart Y, Villet L, Cobb J. Current concepts for aligning knee implants: Patient-specific or systematic? *EFORT Open Rev.* 2018;3:1–6.
 89. Abdel MP, Oussedik S, Cross MB. Clinical faceoff: Neutrally versus kinematically aligned TKA. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473:27–31.
 90. Oussedik S, Abdel MP, Victor J, Pagnano MW, Haddad FS. Alignment in total knee arthroplasty. *Bone Joint J.* 2020;102B:276–9.
 91. An VVG, Twiggs J, Leie M, Fritsch BA. Kinematic alignment is bone and soft tissue preserving compared to mechanical alignment in total knee arthroplasty. *Knee.* 2019;26:466–76.
 92. Luan C, Xu DT, Chen NJ, Wang FF, Tian KS, Wei C, Wang XB. How to choose kinematic or mechanical alignment individually according to preoperative characteristics of patients? *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21:443.
 93. Matsumoto T, Takayama K, Ishida K, Kuroda Y, Tsubosaka M, Muratsu H, et al. Intraoperative soft tissue balance/kinematics and clinical evaluation of modified kinematically versus mechanically aligned total knee arthroplasty. *J Knee Surg.* 2020;33:777–84.
 94. Hutt JR, LeBlanc MA, Massé V, Lavigne M, Vendittoli PA. Kinematic TKA using navigation: Surgical technique and initial results. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016;102:99–104.
 95. Nogler M, Hozack W, Collopy D, Mayr E, Deirmengian G, Sekyra K. Alignment for total knee replacement: A comparison of kinematic axis versus mechanical axis techniques. A cadaver study. *Int Orthop.* 2012;36:2249–53.
 96. Matsumoto T, Takayama K, Ishida K, Hayashi S, Hashimoto S, Kuroda R. Radiological and clinical comparison of kinematically versus mechanically aligned total knee arthroplasty. *Bone Joint J.* 2017;99B:640–6.
 97. Blakeney W, Clément J, Desmeules F, Hagemester N, Rivière C, Vendittoli PA. Kinematic alignment in total knee arthroplasty better reproduces normal gait than mechanical alignment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27:1410–7.
 98. Shelton TJ, Gill M, Athwal G, Howell SM, Hull ML. Outcomes in patients with a calipered kinematically aligned TKA that already had a contralateral mechanically aligned TKA. *J Knee Surg.* 2019, <http://dx.doi.org/10.1055/s-0039-1693000>.
 99. 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;98B:1360–8.
 100. Young SW, Walker ML, Bayan A, Briant-Evans T, Pavlou P, Farrington B, et al. 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.
 101. Luo Z, Zhou K, Peng L, Shang Q, Pei F, Zhou Z. Similar results with kinematic and mechanical alignment applied in total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28:1720–35.
 102. Klasan A, de Steiger R, Holland S, Hatton A, Vertullo CJ, Young SW. Similar risk of revision after kinematically aligned, patient-specific instrumented total knee arthroplasty, and all other total knee arthroplasty: Combined results from the Australian and New Zealand joint replacement registries. *J Arthroplasty.* 2020;35:2872–7.
 103. Matar HE, Platt SR, Gollish JD, Cameron HU. Overview of randomized controlled trials in total knee arthroplasty (47,675 patients): What have we learnt? *J Arthroplasty.* 2020;35:1729–36.
 104. McEwen PJ, Dlska CE, Jovanovic IA, Doma K, Brandon BJ. Computer-assisted kinematic and mechanical axis total knee arthroplasty: A prospective randomized controlled trial of bilateral simultaneous surgery. *J Arthroplasty.* 2020;35:443–50.
 105. MacDessi SJ, Griffiths-Jones W, Chen DB, Griffiths-Jones S, Wood JA, Diwan AD, et al. Restoring the constitutional alignment with a restrictive kinematic protocol improves quantitative soft-tissue balance in total knee arthroplasty: A randomized controlled trial. *Bone Joint J.* 2020;102B:117–24.
 106. Lee YS, Howell SM, Won YY, Lee OS, Lee SH, Vahedi H, et al. Kinematic alignment is a possible alternative to mechanical alignment in total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25:3467–79.
 107. Courtney PM, Lee GC. Early outcomes of kinematic alignment in primary total knee arthroplasty: A meta-analysis of the literature. *J Arthroplasty.* 2017;32:2028–32.
 108. Li Y, Wang S, Wang Y, Yang M. Does kinematic alignment improve short-term functional outcomes after total knee arthroplasty compared with mechanical alignment? A systematic review and meta-analysis. *J Knee Surg.* 2018;31:78–86.
 109. Rivière C, Iranpour F, Auvinet E, Howell S, Vendittoli PA, Cobb J, et al. Alignment options for total knee arthroplasty: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103:1047–56.
 110. Woon JTK, Zeng ISL, Calliess T, Windhagen H, Ettinger M, Waterson HB, et al. Outcome of kinematic alignment using patient-specific instrumentation versus mechanical alignment in TKA: A meta-analysis and subgroup analysis of randomised trials. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2018;138:1293–303.
 111. Takahashi T, Ansari J, Pandit HG. Kinematically Aligned Total Knee Arthroplasty or Mechanically Aligned Total Knee Arthroplasty. *J Knee Surg.* 2018;31:999–1006.
 112. Hiyama S, Takahashi T, Takeshita K. Kinematically Aligned Total Knee Arthroplasty Did Not Show Superior Patient-Reported Outcome Measures: An Updated Meta-analysis of Randomized Controlled Trials with at Least 2-Year Follow-up. *J Knee Surg.* 2020, <http://dx.doi.org/10.1055/s-0040-1716494>.
 113. Roussot MA, Vles GF, Oussedik S. Clinical outcomes of kinematic alignment versus mechanical alignment in total knee arthroplasty: A systematic review. *EFORT Open Rev.* 2020;5:486–97.
 114. Becker R, Tandogan R, Violante B. Alignment in total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24:2393–4.
 115. Escobar-Castillejos D, Noguez J, Bello F, Neri L, Magana AJ, Benes B. A Review of Training and Guidance Systems in Medical Surgery. *Appl Sci.* 2020;10:5752.