Article published online: 2025-05-20

Ángulo de Convergencia de la Línea Articular después de la Artroplastia Total de Rodilla: Comparación entre Alineación Mecánica y Alineación Paciente Específica con Cirugía Asistida por Robot

Joint line convergence angle after total knee arthroplasty: Comparison between mechanical alignment and patient-specific alignment with robotic-assisted surgery

David Figueroa Poblete[1] Waldo Gonzalez Duque[1] Jorge Isla Villanueva[1]
Francisco Figueroa Berrios[1] Loreto Figueroa Berrios[1] Rodrigo Guiloff Krauss[1]

[1] Departamento de Traumatología, Unidad de Rodilla y Artroscopía, Clínica Alemana, Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile

Rev Chil Ortop Traumatol 2025;66(1):e26–e31.

Address for correspondence Waldo Gonzalez Duque, MD, Departamento de Traumatología, Unidad de Rodilla y Artroscopía, Clínica Alemana, Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile (e-mail: doctorwaldogonzalez@gmail.com).

Resumen

Introducción Como un método para mejorar la satisfacción del paciente después de la artroplastia total de rodilla (ATR), se han realizado diferentes estrategias de alineación para restaurar las superficies femorales y tibiales a su estado preartrítico. Debido a este cambio de paradigma, la orientación de la línea articular de la rodilla (JLO), un componente esencial de la cinemática de la rodilla ha despertado recientemente interés como parámetro clínico.

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la JLO de la rodilla medida por el ángulo de convergencia de la línea articular (JLCA) después de la ATR en dos estrategias de alineación diferentes mientras se utiliza cirugía asistida por robots. Nuestra hipótesis fue que una estrategia de alineación específica para el paciente conduciría a más valores de JLCA considerados normales (0–2°).

Métodos Se realizó una revisión retrospectiva de datos de 98 pacientes (100 rodillas) que se sometieron a ATR asistida por robots. El Grupo I consistió en 50 rodillas que se sometieron a ATR utilizando una estrategia de alineación mecánica, y el Grupo II consistió en 50 rodillas que se sometieron a ATR utilizando una estrategia de alineación específica para el paciente. El JLCA fue medido por dos observadores diferentes en radiografías preoperatorias y postoperatorias. Se realizó un análisis estadístico utilizando la prueba t de Student, la prueba de chi-cuadrado y la regresión lineal para análisis multivariable.

Palabras Claves
- artroplastia total de rodilla
- alineación paciente-especifica
- alineación mecánica
- ángulo de convergencia de la línea articular
- oblicuidad de la línea articular

recibido
20 de noviembre de 2024
aceptado
02 de abril de 2025

DOI https://doi.org/10.1055/s-0045-1809058.
ISSN 0716-4548.

© 2025. Sociedad Chilena de Ortopedia y Traumatologia. All rights reserved.
This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution-NonDerivative-NonCommercial-License, permitting copying and reproduction so long as the original work is given appropriate credit. Contents may not be used for commercial purposes, or adapted, remixed, transformed or built upon. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Thieme Revinter Publicações Ltda., Rua Rego Freitas, 175, loja 1, República, São Paulo, SP, CEP 01220-010, Brazil

Resultados No hubo diferencias demográficas estadísticamente significativas entre ambos grupos en cuanto a edad, género, lado, índice de masa corporal, clasificación de Kellgren Lawrence, rango de movimiento preoperatorio y medición del ángulo de cadera-rodilla-tobillo (HKA). La edad promedio fue de 69 años y el 61,2% de todos los pacientes eran mujeres. En el Grupo I, el JLCA promedio preoperatorio fue de 2,34° (1,49 DE), y el JLCA promedio postoperatorio fue de 0,35° (0,27 DE). En el Grupo II, el JLCA promedio preoperatorio fue de 2,43° (1,72 DE), y el JLCA promedio postoperatorio fue de 0,29° (0,24 DE). En el Grupo I, la diferencia media entre el JLCA preoperatorio y postoperatorio fue de 2,34 (1,48 DE), y en el Grupo II la diferencia media entre el JLCA preoperatorio y postoperatorio fue de 2,43 (1,72 DE). No hubo una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos en cuanto a la mejora del JLCA ($p = 0,285$).

Conclusiones El JLCA mejoró en el postoperatorio en ambas estrategias de alineación mecánica y específica del paciente después de la ATR asistida por robots sin diferencias significativas entre las estrategias.

Abstract

Introduction Different alignment strategies have been used to restore the femoral and tibial surfaces to their pre-arthritic state after total knee arthroplasty (TKA), improving patient satisfaction. Due to this paradigm change, the knee joint line orientation (JLO), an essential component of knee kinematics, has recently garnered interest as a clinical parameter.

This study aimed to evaluate the JLO measured by the joint line convergence angle (JLCA) after TKA using two different alignment strategies and robotic-assisted surgery. We hypothesized that a patient-specific alignment strategy would lead to more JLCA values considered normal (0–2°).

Methods A retrospective review of data from 98 patients (100 knees) who underwent robotic-assisted TKA was performed. Group I consisted of 50 knees that underwent TKA using a mechanical alignment strategy, and Group II consisted of 50 knees that underwent TKA using a patient-specific alignment strategy. The JLCA was measured by two different observers in pre-operative and post-operative radiographs. Statistical analysis was performed using the T-Student test, chi-square test, and linear regression for multivariate analysis.

Results There were no statistically significant demographic differences between both groups regarding age, gender, side, body mass index, Kellgren Lawrence classification, pre-operative range of motion, and hip-knee-ankle (HKA) angle measurement. The mean age was 69 years and 61.2% of all patients were females. In Group I, the average pre-operative JLCA was 2.34° (1.49 SD), and the average post-operative JLCA was 0.35° (0.27 SD). In Group II, the average pre-operative JLCA was 2,43° (1.72 SD), and the post-operative average JLCA was 0.29° (0.24 SD). In Group I the mean difference between the pre and post-operative JLCA was 2.34 (1.48 SD), and in Group II the mean difference between the pre- and post-operative JLCA was 2.43 (1.72 SD). There was not a statistically significant difference between both groups regarding JLCA improvement ($p = 0.285$).

Conclusions The JLCA improved post-operatively in both mechanical and patient-specific alignment strategies after robotic-assisted TKA without significant differences between strategies.

Keywords
- total knee arthroplasty
- patient-specific alignment
- mechanical alignment
- joint line convergence angle
- joint line obliquity
- robotic surgical

Introducción

El concepto de realizar cortes óseos en ángulo recto [alineación mecânica (AM)], tanto en fémur como en tibia, con la idea de crear espacios de flexión y extensión paralelos e iguales, se introdujo en las primeras etapas del desarrollo de la artroplastia total de rodilla (ATR).[1]

Si bien el promedio preoperatorio del ángulo cadera-rodilla-tobillo (CRT) de los pacientes programados para una artroplastia total de rodilla (ATR) es casi neutro, un estudio de 4884 pacientes demostró una gran variación (de 24° en varo a 25° en valgo), con solo el 0.1% presentando ejes mecánicos femorales y tibiales neutrals,[2] incluso las rodillas no artrosicas tienen una amplia distribución de alineaciones coronales. La AM introduce, por lo tanto, modificaciones anatómicas significativas para muchos individuos, lo que puede resultar en resecciones óseas desiguales. En el pasado, esto llevó a muchos cirujanos a considerar la ATR como una cirugía de tejidos blandos para equilibrar los cortes óseos,[3] cuando en realidad, en la mayoría de las ATR, los tejidos blandos rara vez se modifican si la deformidad es menor a 15°.[4] Si bien se han propuesto multiples tecnicas de liberación de los tejidos blandos para balancear los espacios, los estudios han demostrado que estas liberaciones pueden ser impredecibles y llevar a un mayor desequilibrio,[5] Este desequilibrio puede llevar a una cinemática anormal, perdida del rango de movimiento, aflojamiento, desgaste y fracaso precoz.

Por otro lado, se ha demostrado que restaurar la laxitud nativa de los tejidos blandos en la ATR se logra con mayor facilidad al posicionar los implantes más cerca de la alineación constitucional.[6] Para muchos cirujanos, esto ha resultado en un cambio filosófico de entender la ATR, pasando de la AM a un enfoque más personalizado al paciente, o "paciente específico" (PE). Esto ha sido respaldado por nuevos métodos para clasificar los fenotipos funcionales de rodilla no artrosica.[7]

La restauración de la alineación constitucional de la extremidad y de la oblicuidad de la línea articular (JLO) recrea de manera más fiel las laxitudes fisiológicas de los tejidos blandos [8,9] y los patrones de marcha normales. [10] Debido a este cambio de paradigma, el ángulo de convergencia de la línea articular (JLCA), un componente clave de la cinemática de la rodilla, ha cobrado recientemente mayor relevancia como parámetro clínico. Se reconoce ampliamente como una medida indirecta para estimar el grado de deformidad intraarticular. El JLCA está influenciado tanto por la deformidad intraarticular como por la laxitud de los tejidos blandos laterales. [11] Por ello, si la laxitud de los tejidos blandos afecta al JLCA, la realización de una artroplastia total de rodilla asistida por robot (RA-TKA) debería minimizar la alteración de estos tejidos, lo que podría tener un impacto significativo en el JLCA. Además, si se emplea una estrategia de alineación específica para el paciente, cuyo objetivo es restaurar el estado preartrítico con una menor agresión a los tejidos blandos, el cambio en el JLCA debería ser aún más pronunciado.

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el ángulo de convergencia de la línea articular tras la artroplastia total de rodilla asistida por robot (RA-TKA) utilizando dos estrategias de alineación diferentes. La hipótesis de nuestro trabajo es que una estrategia de alineación específica para el paciente conduciría a más valores de JLCA considerados normales (0–2°).

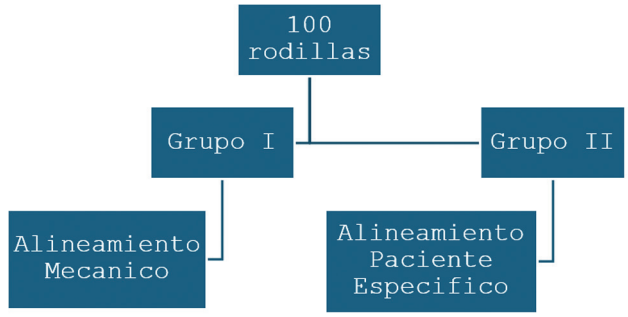


Fig. 1 Diagrama de flujo del estudio.

Materiales Y Metodos

Pacientes

Los autores revisaron los registros de una serie consecutiva de pacientes que recibieron una ATR asistida por robot (rodilla Stryker Triathlon® CR) con AM ($n = 50$, grupo 1) y con alineación "paciente especifica" (APE) ($n = 50$, grupo 2) (►**Figura 1**). La indicacion de que tipo de alineamiento ocupar para cada paciente fue aleatoria. Para tener en cuenta la curva de aprendizaje en el uso de TKA asistida por robot, se excluyeron los primeros diez casos de cada grupo. La indicación para la cirugía fue artrosis avanzada de rodilla, etapas 3 years 4 según la clasificación de Kellgren-Lawrence, en al menos dos de los tres compartimentos de la rodilla.

Se realizó una evaluación radiográfica estándar en radiografías preoperatorios y post operatorias con carga de peso: proyecciones anteroposterior, Rosenberg, lateral, axial de rotula (skyline) y teleradiografia de extremidades inferiores.

El seguimiento clínico post operatorio se organizó a las 2 semanas, 1 mes, 2 meses, 3 meses y 6 meses después de la cirugía para ambos grupos. Todos los pacientes habían proporcionado su consentimiento informado por escrito para el uso de sus datos e imágenes con fines de investigación y publicación, y el comité de revisión institucional aprobó el estudio.

Técnica Quirúrgica

Todos los pacientes fueron sometidos a anestesia general (inhalatoria asociada a endovenosa). En ambos grupos de pacientes, se utilizó isquemia mediante un torniquete, que se inflo al iniciar la cirugía. El abordaje fue mediante una incisión parapatelar medial, teniendo cuidado en la liberación de partes blandas. La liberación de partes blandas de la tibia anteromedial fue cuidadosa, y se tuvo cuidado de no lesionar el tendón patelar. El sistema robótico (MAKO®, Stryker, MI, EEUU) se calibra y configura siguiendo un protocolo estándar previo a la cirugía. Al paciente se le solicita una tomografía computarizada (TC) preoperatoria de la cadera, rodilla y tobillo e la plataforma de aplicación de ATR, y con esto se realiza un modelo tridimensional especifico al paciente. Esta información se carga al sistema

robótico y se realiza un *planning* preoperatorio de los tamaños de implantes a utilizar. En el intraoperatorio, se fijan las guías para las antenas del sistema robótico tanto en la tibia como en el fémur, y se realiza el registro capturando 40 puntos aleatorios en la superficie ósea de cada hueso.

Al realizar el registro de los 40 puntos en la superficie ósea, se debe lograr un nivel de precisión de menos de 0.5 mm para poder continuar con el procedimiento. Todas las mediciones se realizaron intraoperatoriamente utilizando la interfaz de usuario del sistema robótico, que tiene una resolución de 0.5 mm para distancias y 0.1° para ángulos. Las pruebas de los componentes femorales y tibiales se posicionaron, y virtualmente según cada técnica de alineamiento, se objetivo el equilibrio de los espacios en flexión y extensión, según alineamiento mecánico (AM) o alineamiento paciente especifico (APE) del software MAKO 2.0, dependiendo del grupo correspondiente.

Alineación Mecánica (AM)

La técnica de alineación mecánica (AM) tiene como objetivo restablecer la alineación del eje a 0° o, al menos, corregir la deformidad coronal dentro de un margen de $\pm 3°$. Para ello, la resección femoral se ajusta con el fin de preservar una deformidad constitucional leve ($<3°$) o reducir una deformidad más pronunciada, mientras que el componente tibial se mantiene alineado mecánicamente. El componente tibial se posiciona de manera que quede perpendicular (90°) al eje mecánico tibial. En cuanto a los espacios de flexión y extensión, ambos componentes se colocan estratégicamente para lograr una laxitud residual de 1–2 mm en ambos compartimentos. De este modo, se garantiza que el ángulo CRT se mantenga dentro de un rango seguro de 177–183°.

Alineación Paciente Especifica (APE)

En la tecnica de APE, el componente tibial se posicionó primero planificando una resección de cantidades iguales de hueso medial y lateral en la tibia, teniendo en cuenta el desgaste óseo. El objetivo era restaurar el ángulo tibial proximal medial pre-artrítico (MPTA), dentro de una zona segura de 84° (varo) a 92° (valgo), lo cual representa la alineación nativa de la rodilla. La inclinación tibial se estableció igual a la inclinación tibial medial nativa. En el lado femoral, el componente femoral se posiciona para restaurar la altura de la línea articular medial tanto en extensión como en flexión. Los espacios de flexión y extensión se equilibran ajustando los niveles de resección lateral distal y posterior lateral en el fémur. Para el espacio de flexión, el objetivo era lograr una laxitud residual de 1–2 mm en el compartimento medial y una laxitud residual mayor de 1–3 mm en el compartimento lateral. Para el espacio de extensión, el objetivo era lograr una laxitud residual de 1–2 mm en ambos compartimentos, manteniéndose dentro de una zona segura de ángulo HKA de 174–183°.

Resección Ósea

Las resecciones tibial y femoral se realizaron según el plan intraoperatorio definido por el cirujano utilizando el sistema robótico asistido por retroalimentación háptica. Como se utilizó una herramienta de navegación basada en tomografía computarizada (CT), todos los espesores de resección planificados fueron de hueso, sin tener en cuenta el cartílago. El sistema robótico permitió al cirujano mover la sierra oscilante en el plano de corte definido dentro de los límites hápticos, protegiendo los tejidos blandos. La rótula fue rutinariamente recubierta utilizando una sierra oscilante convencional, e instalando un inserto patelar asimetrico.

Rehabilitación

La rehabilitacion de los pacientes fuera realizada por Kinesiologos de nuestro centro, con un protocolo establecido. Esto incluyo una rehabilitacion postoperatoria inmediata, que incluia el uso de un movilizador pasivo continuo de rodilla desde recuperacion, movilización directa y carga completa de peso inmediata, protegida por muletas. Con la supervision del kinesiologo, se alentó a los pacientes a realizar ejercicios con movimientos activos de flexión y extensión desde el día 1. En promedio, los pacientes permanecieron tres noches en nuestro centro, realizando 2 sesiones con kinesiologo por dia.

Las sesiones diarias de kinesiologia continuaron en casa. Se recomendó el uso de bastones ortopedicos durante las primeras 2 semanas, al menos. Todos los pacientes recibieron profilaxis rutinaria con anticoagulacion oral durante 3 semanas después de la cirugía. La primera cita postoperatoria en la clínica ambulatoria fue a las 2 semanas.

Análisis Estadístico

Se utilizaron estadísticas descriptivas para resumir los datos. El JLCA fue medido por dos observadores diferentes en radiografías preoperatorias y postoperatorias. Se realizó un análisis estadístico utilizando la prueba t de Student, la prueba de chi-cuadrado y la regresión lineal para análisis multivariable (►**Tabla 1**).

Resultados

No hubo diferencias demográficas estadísticamente significativas entre ambos grupos en cuanto a edad, género, lado, índice de masa corporal, clasificación de Kellgren Lawrence, rango de movimiento preoperatorio y medición del ángulo de cadera-rodilla-tobillo (HKA). La edad promedio fue de 69 años y el 61,2% de todos los pacientes eran mujeres.

En el Grupo I, el JLCA promedio preoperatorio fue de 2,34° (1,49 DE), y el JLCA promedio postoperatorio fue de 0,35° (0,27 DE). En el Grupo II, el JLCA promedio preoperatorio fue de 2,43° (1,72 DE), y el JLCA promedio postoperatorio fue de 0,29° (0,24 DE). En el Grupo I, la diferencia media entre el JLCA preoperatorio y postoperatorio fue de 2,34 (1,48 DE), y en el Grupo II la diferencia media entre el JLCA preoperatorio y postoperatorio fue de 2,43 (1,72 DE). No hubo una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos en cuanto a la mejora del JLCA ($p = 0{,}285$) (►**Tabla 1**) (►**Grafico 1** and **2**).

Discussion

El hallazgo más importante de nuestro estudio es que, tanto la estrategia de alineamiento mecánico como la paciente

Table 1 Statistical Analysis

Grupo		Media	Error estándar	Desviación estándar	[95% Intervalo de confianza	
1	50	2.336	.2105728	1.488974	1.912838	2.759162
2	50	2.428	.2437637	1.72367	1.938139	2.917861
Combinado	100	2.382	.1603114	1.603114	2.063907	2.700093
Diferencia		-.092	.3221205		-.7312377	.5472377

Diferencia = media (1) - media (2) t = - 0,2856
H_0: diferencia = 0 Grados de libertad = 98

Ha: diferencia < 0 Pr(T < t) = 0,3879
Ha: diferencia != 0 Pr(|T|> |t|) = 0,7758
Ha: diferencia > 0 Pr(T > t) = 0,6121

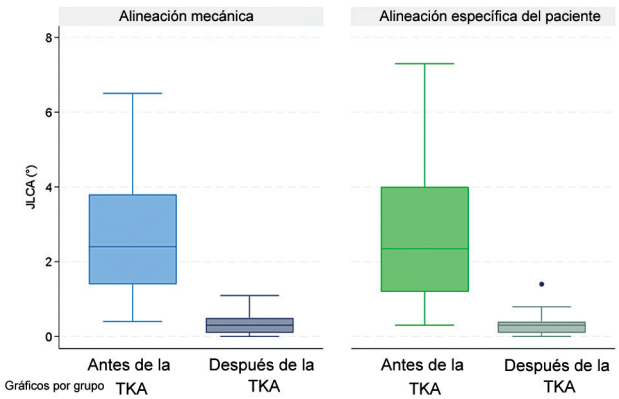


Gráfico 1 Resultado estadístico, comparación entre ambos grupos del cambio de la JLCA preoperatorio versus postoperatorio.

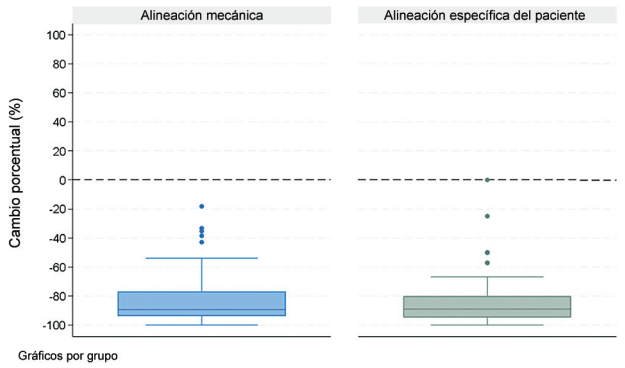


Gráfico 2 Resultado estadístico, comparación entre ambos alineamientos, con respecto al porcentaje de cambio de cada uno.

específico optimizadas por la robótica, mejoran el ángulo de convergencia articular post operatorio, llevándolo en ambos casos a valores cercanos a 0°. Destaca la homogeneidad existente entre ambos grupos, lo que los hace comparables, evitando factores confundentes clásicos, tanto las deformidades pre quirúrgicas como la edad promedio de pacientes son similares.

Según el estudio de Mabrouk et al [11] el ángulo de convergencia articular estaría directamente relacionado con el grado de artrosis de pacientes sometidos a cirugía de reemplazo articular, y muchas veces podría ser sinónimo del desgaste del cartilago de la rodilla. Es por eso que restaurar un ángulo cercano a 0° (JLCA 0° - 2°) reproduce de mejor manera el estado nativo de las rodillas.[12–14]

El alineamiento mecánico ha sido por más de 30 décadas el gold standard en alineamiento protésico, y básicamente lo que busca es distribuir la carga en la neoarticulación protésica de manera uniforme, disminuyendo con eso los posibles riesgos de aflojamiento. Al comienzo de nuestra experiencia robótica, como grupo, desarrollábamos este tipo de alineamiento en todas nuestras cirugías de recambio articular, con pocos outliers. Al adoptar un enfoque de alineación más específica para cada paciente, los límites de nuestras planificaciones se volvieron más flexibles, permitiéndonos considerar implantes con mayores grados de varo en algunos casos. Sin embargo, resulta llamativo que esta variación en la alineación no haya generado un cambio significativo en el valor postoperatorio del JLCA.

Como fue estudiado por el grupo de Macdessi et al[15] si se aplican límites de $\pm 3°$ al eje mecánico (HKA), al ángulo distal femoral lateral (LDFA) y al ángulo tibial proximal medial (MPTA), el alineamiento constitucional y la oblicuidad de la línea articular (JLO) se restaurarán en solo el 36.2% de las rodillas. Por lo tanto, es probable que más del 60% de los pacientes sometidos a una artroplastia total de rodilla (TKA) con este enfoque quirúrgico presenten algún grado de desequilibrio de tejidos blandos que requiera liberación ligamentaria, para poder restaurar los parámetros nativos de esa rodilla. El porcentaje de pacientes en los que se restablece el alineamiento constitucional de la extremidad

aumenta significativamente al 74% si se eliminan las restricciones en la JLO, manteniendo el límite del HKA en ± 3.

Cuando los cirujanos ortopédicos buscan una alineación mecánica en el plano coronal, puede ser necesario realizar liberaciones de tejidos blandos para lograr un equilibrio adecuado en la rodilla. En cambio, al restaurar la alineación constitucional de la rodilla, se requieren menos liberaciones de tejidos blandos, lo que permite un mejor equilibrio de los tejidos sin provocar lesiones en los ligamentos, ni grandes liberaciones de partes blandas.[9]

Respecto a lo reportado en la literatura, existe un estudio de Sappey-Marinier et al.[16] con mas de 900 pacientes estudiados, a quienes se les realizó una cirugía protésica de rodilla con alineamiento mecánico y en quienes intentaron ver si existía alguna diferencia clínica cuando se restauraba el JLCA previo además del fenotipo de la rodilla operada nativa, no encontrando diferencias entre aquellos a los que se les restauró el fenotipo nativo (18% aproximadamente) versus quienes quedaron con un fenotipo diferente al navito. Llama la atención que a pesar de que abogaban por un alineamiento mecánico neutro (HKA =180°), mas del 60% de los pacientes obtuvo un alineamiento fuera del rango de 178° - 182°, demostrando que muchas veces lo planificado no es lo obtenido en relación a los cortes óseos.

Es interesante observar cómo se obtuvieron resultados similares sin haberlos buscado intencionalmente, lo que sugiere que ciertos conceptos de alineación mecánica son reproducibles con el software MAKO 2.0 (alineamiento paciente especifico). Este sistema enfatiza el balance protésico en función del estado ligamentario y la laxitud medial y lateral a lo largo de todo el rango de flexo-extensión. Sin embargo, consideramos importante destacar que existen márgenes de seguridad que hemos ido identificando a medida que adquirimos mayor experiencia en cirugía asistida por robot, un campo que sigue en constante evolución. Estos márgenes están estrechamente relacionados con el estado nativo de las rodillas que operamos. Dicho esto, podemos afirmar que el JLCA es un indicador confiable para obtener resultados reproducibles en este contexto.

Conclusion

El JLCA mejoró en el postoperatorio en ambas estrategias de alineación mecánica y específica del paciente después de la ATR asistida por robots sin diferencias significativas entre las estrategias. Se necesitan estudios con mayor tamaño muestral y que incluyan resultados funcionales.

Financiamiento
No se utilizó ninguna fuente de financiación para la preparación de este artículo.

Conflicto de Interés
DF, WG, JI, FF, LF y RG no tienen nada que declarar en relación con este manuscrito.

Referencias

1 Freeman MA, Swanson SA, Todd RC. Total replacement of the knee using the Freeman-Swanson knee prosthesis. Clin Orthop Relat Res 1973;(94):153–170
2 Almaawi AM, Hutt JRB, Masse V, Lavigne M, Vendittoli P-A. The impact of mechanical and restricted kinematic alignment on knee anatomy in total knee arthroplasty. J Arthroplasty 2017;32(07): 2133–2140
3 Whiteside LA. Soft tissue balancing: the knee. J Arthroplasty 2002;17(4, Suppl 1)23–27
4 McAuliffe MJ, Roe J, Garg G, Whitehouse SL, Crawford R. The varus osteoarthritic knee has no coronal contractures in 90 degrees of fexion. J Knee Surg 2017;30(04):297–303
5 Christensen CP, Stewart AH, Jacobs CA. Soft tissue releases affect the femoral component rotation necessary to create a balanced flexion gap during total knee arthroplasty. J Arthroplasty 2013;28 (09):1528–1532
6 Blakeney W, Beaulieu Y, Puliero B, Kiss MO, Vendittoli PA. Bone resection for mechanically aligned total knee arthroplasty creates frequent gap modifications and imbalances. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2019
7 Hirschmann MT, Hess S, Behrend H, Amsler F, Leclercq V, Moser LB. Phenotyping of hip-knee-ankle angle in young non-osteoarthritic knees provides better understanding of native alignment variability. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2019;27(05):1378–1384
8 Chang JS, Kayani B, Wallace C, Haddad FS. Functional alignment achieves soft-tissue balance in total knee arthroplasty as measured with quantitative sensor-guided technology. Bone Joint J 2021;103-B(03):507–514
9 MacDessi SJ, Griffiths-Jones W, Chen DB, 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; 102-B(01):117–124
10 Blakeney W, Clement J, Desmeules F, Hagemeister N, Riviere C, Vendittoli PA. Kinematic alignment in total knee arthroplasty better reproduces normal gait than mechanical alignment. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2018
11 Mabrouk A, An JS, Glauco L, et al. The joint line convergence angle (JLCA) correlates with intra-articular arthritis. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2023;31(12):5673–5680. Doi: 10.1007/ s00167-023-07616-4
12 Bellemans J, Colyn W, Vandenneucker 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(01):45–53. Doi: 10.1007/s11999-011-1936-5
13 Chao EY, Neluheni EV, Hsu RW, Paley D. Biomechanics of malalignment. Orthop Clin North Am 1994;25(03):379–386
14 Moser LB, Hess S, Amsler F, Behrend H, Hirschmann MT. Native non-osteoarthritic knees have a highly variable coronal alignment: a systematic review. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2019;27 (05):1359–1367. Doi: 10.1007/s00167-019-05417-2
15 MacDessi SJ, Allom RJ, Griffiths-Jones W, Chen DB, Wood JA, Bellemans J. The importance of joint line obliquity: a radiological analysis of restricted boundaries in normal knee phenotypes to inform surgical decision making in kinematically aligned total knee arthroplasty. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2022;30(09): 2931–2940. Doi: 10.1007/s00167-022-06872-0
16 Sappey-Marinier E, Batailler C, Swan J, et al. Mechanical alignment for primary TKA may change both knee phenotype and joint line obliquity without influencing clinical outcomes: a study comparing restored and unrestored joint line obliquity. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2022;30(08):2806–2814. Doi: 10.1007/s00167-021-06674-w