



ORIGINAL

**[Artículo traducido] ¿Es útil la clasificación CPAK
(Coronal Plane Alignment of the Knee) para planificar
la cirugía individualizada de artroplastia total de
rodilla en la población española? Un análisis crítico de
la clasificación CPAK**

O. Pujol^{a,b,*}, P. Hinarejos^c, A. Pons^d, E. Famada^c, A. Zumel^d, J. Erquicia^{b,d}
y J. Leal-Blanquet^{b,d}

^a Unidad de Cirugía de Rodilla, Departamento de Cirugía Ortopédica, Hospital Universitari Vall d'Hebron, Barcelona, España

^b Unidad de Cirugía de Rodilla, iMove Traumatología, Barcelona, España

^c Unidad de Cirugía de Rodilla, Departamento de Cirugía Ortopédica, Hospital del Mar, Barcelona, España

^d Unidad de Cirugía de Rodilla, Departamento de Cirugía Ortopédica, Hospital Sant Joan de Déu de Manresa, Manresa, Barcelona, España

Recibido el 23 de diciembre de 2024; aceptado el 21 de enero de 2025

Disponible en Internet el 9 de junio de 2025

PALABRAS CLAVE

Coronal Plane
Alignment Knee
Classification (CPAK);
Robótica;
Artroplastia total de
rodilla;
Prótesis total de
rodilla;
Fenotipo;
Alineación

Resumen

Introducción: La clasificación CPAK tiene como objetivo categorizar los fenotipos de rodilla. El estudio original se basó en población australiana y belga, pero existe una variación significativa en la distribución CPAK entre diferentes áreas geográficas. El objetivo principal es evaluar los fenotipos de rodilla en población española con artrosis utilizando el sistema CPAK. El objetivo secundario es comparar la distribución CPAK española con la observada en el estudio original para analizar si es necesario proponer modificaciones al aplicar la clasificación a nuestra población. Finalmente, se analizará críticamente la utilidad de esta clasificación al planificar una ATR individualizada.

Métodos: Estudio observacional transversal que analiza datos radiológicos de 121 pacientes con artrosis de rodilla tratados mediante ATR asistida por Mako en tres instituciones españolas. Se utilizó la tomografía computarizada preoperatoria de la extremidad inferior para medir el MPTA y el LDFA de cada paciente. Posteriormente, se calcularon el aHKA (MPTA – LDFA) y JLO (MPTA + LDFA) para categorizar a los pacientes en los nueve fenotipos CPAK.

Resultados: Los fenotipos de rodilla más comunes en la población española con artrosis fueron los tipos CPAK de ápex distal (74%: II [28%], I [23%] y III [23%]). Ningún paciente presentó un

Véase contenido relacionado en DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.recot.2025.01.002>

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: oriolp-6@hotmail.com, Oriol.Pujol@autonoma.cat (O. Pujol).

<https://doi.org/10.1016/j.recot.2025.06.003>

1888-4415/© 2025 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

KEYWORDS

Coronal Plane
Alignment Knee
Classification (CPAK);
Robotics;
Total knee
arthroplasty (TKA);
Total knee
replacement (TKR);
Phenotype;
Alignment

fenotipo con ápex proximal (VII, VIII y IX). El 30% de los pacientes tenían una alineación en varo y el 26%, en valgo. No se encontraron diferencias relevantes entre la distribución CPAK española y la observada en el estudio original.

Conclusiones: No deberían ser necesarias modificaciones a la clasificación CPAK para la población española. La clasificación CPAK puede ser útil para describir y categorizar a los pacientes con artrosis. Sin embargo, se han encontrado limitaciones relevantes en la clasificación, cuestionando su utilidad para planificar y guiar la cirugía de ATR individualizada.

© 2025 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Is the coronal plane alignment of the knee (CPAK) classification useful to plan individualized total knee arthroplasty surgery for the Spanish population? A critical analysis of the CPAK classification

Abstract

Introduction: The CPAK classification aims to categorize knee phenotypes. The original study was based on Australian and Belgian population, but significant variation in CPAK distribution exists between different geographic areas. The primary objective is to evaluate knee phenotypes of osteoarthritic Spanish population based on the CPAK system. The secondary objective is to compare the Spanish CPAK distribution with that observed in the original study to analyse if proposing modifications is necessary when applying the classification to our population. Finally, we aim to critically analyse the utility of this classification to plan individualized TKA.

Methods: It is a cross-sectional observational study analysing radiological datasets from 121 patients with knee osteoarthritis treated with a Mako assisted TKA in three Spanish institutions. The preoperative lower limb CT-scan was used to measure the MPTA and LDFA of each patient. Then, the aHKA (MPTA – LDFA) and JLO (MPTA + LDFA) were calculated to categorize patients into the nine CPAK phenotypes.

Results: The commonest knee phenotypes of osteoarthritic Spanish population were the distal apex JLO CPAK types (74%: II [28%], I [23%] and III [23%]). No patient presented a proximal apex type (VII, VIII and IX). The 30% of the patients had a varus alignment and 26% a valgus. No relevant differences were found between the Spanish CPAK distribution and that observed in the original study.

Conclusions: No modifications to the CPAK classification should be necessary for the Spanish population. The CPAK classification can be useful to describe and categorize osteoarthritic patients. However, relevant limitations have been found to the classification, questioning its utility to plan and guide individualized TKA surgery.

© 2025 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

Existe un interés creciente por las técnicas de alineación individualizadas para la cirugía de artroplastia total de rodilla (ATR)¹⁻³. Dichas filosofías consideran que deberá tenerse en cuenta la anatomía constitucional del paciente (preartrítica) a la hora de realizar un reemplazo de rodilla, a fin de lograr una cinemática de la rodilla más natural y mejorar el equilibrio del tejido blando²⁻⁴. Sin embargo, existe incertidumbre a la hora de estimar la anatomía nativa del paciente, comprender los fenotipos de rodilla y determinar qué estrategia de alineación es la más idónea para cada paciente.

En 2021, MacDessi et al. propusieron la *Coronal Plane Alignment Knee Classification* (CPAK: clasificación del plano coronal de alineación de la rodilla)⁵. El objetivo de dicha clasificación es ser un sistema simple de predicción de la alineación de rodilla preartrítica y categorizar el fenotipo de rodilla en el plano coronal. Las rodillas se clasifican en nueve

fenotipos, sobre la base de dos variables críticas: aHKA (ángulo mecánico de la extremidad inferior) y JLO (oblicuidad de la línea articular), que pueden obtenerse mediante una fórmula matemática tras medir el ángulo radiológico MPTA tibial proximal medial y el ángulo femoral distal lateral (LDFA). JLO se define como (MPTA + LDFA); los valores > 183 indican un ápex JLO proximal, mientras que el valor < 177 indica un ápex JLO distal. El ángulo aHKA, que predice teóricamente la alineación preartrítica⁶⁻⁸, se define como (MPTA – LDFA). Se establecieron los límites de la alineación neutra en 0 ± 2 .

El estudio CPAK original de MacDessi se basó en pacientes osteoarthríticos australianos y voluntarios belgas sanos⁵. Sin embargo, se ha observado una variación significativa de la distribución CPAK entre las diferentes zonas geográficas⁹. Comprender la distribución de la población específica en fenotipos de rodilla es importante para planificar un procedimiento de ATR más personalizado. La clasificación CPAK

puede adaptarse a la distribución y características específicas de una población. Hsu et al.¹⁰ observaron que la población asiática tenía una distribución de la alineación en varo y de mayor amplitud y, por tanto, propusieron ampliar los límites del aHKA neutro. A nuestro saber, no se ha explorado aún la distribución CPAK en la población española.

El objetivo primario de este estudio es evaluar el fenotipo de los pacientes con rodillas osteoarthriticas en una muestra de población española, sobre la base del sistema CPAK. El objetivo secundario fue comparar la distribución de CPAK español y la distribución observada en el estudio original, a fin de analizar si deben realizarse modificaciones a la clasificación para España. Por último, tratamos de debatir y analizar críticamente la utilidad de la clasificación CPAK para planificar la ATR individualizada.

Métodos

Diseño del estudio

Tras obtenerse la aprobación del Comité de ética local (24/043), se realizó un estudio observacional transversal multicéntrico en tres instituciones médicas de España (iMove Traumatología-Clínica Tres Torres, Hospital del Mar de Barcelona y Hospital Sant Joan de Déu de Manresa). Se analizaron los conjuntos de datos radiológicos de los pacientes con osteoartritis de rodilla tratados mediante ATR entre 2022 y 2024. Los criterios de inclusión fueron: a) pacientes con osteoartritis de rodilla primaria que recibieron ATR; b) cirugía realizada asistida por el sistema robótico Mako (Stryker Corporation, Kalamazoo, EE.UU.) y con TC preoperatoria de la extremidad inferior, y c) operados entre 2022 y 2024 en una de las instituciones españolas participantes en el estudio. Los criterios de exclusión fueron: a) ATR secundaria a infección, fractura, osteotomía o neoplasia; b) cirugía de revisión, o c) pérdida ósea grave. Solo se analizó en este estudio la extremidad que recibió cirugía.

Variables de los resultados

Datos demográficos

Edad, sexo y diagnóstico indicativo de ATR.

Datos radiológicos

La ATR asistida por Mako requiere sistemáticamente una TC preoperatoria para crear un modelo en 3D que guíe la planificación preoperatoria y los pasos intraoperatorios. El protocolo de escáner basado en TC (PN 200004) se centra en minimizar la dosis de radiación, e implica un escaneo espiral continuo de cadera, rodilla y tobillo¹¹. Dicho escaneo es procesado por un especialista en segmentación Mako y un especialista en productos Mako que realiza la segmentación, la identificación de las referencias anatómicas y las medidas (protocolo 214928). El escaneo de la rodilla se segmenta utilizando cortes de 1 mm. Se identificaron en el escáner las referencias anatómicas del hueso (incluyendo centro de la cadera, centro de la rodilla fémur/tibia, centro del tobillo, fémur distal medial/lateral y tibia proximal medial/lateral). Los centros articulares se imputaron sobre la base del análisis tridimensional de las imágenes. Se establecieron las referencias femorales distales en la superficie más distal de cada cóndilo. Para la tibia proximal, la referencia sagital se

localizó en un punto dos tercios posterior desde la superficie anterior de cada meseta, que representa la zona con mayor estrés de contacto¹². Utilizando estas referencias anatómicas, se midieron el MPTA (ángulo medial que se forma entre el eje mecánico tibial y la línea articular de la tibia proximal) y el LDFA (ángulo lateral que se forma entre el eje mecánico femoral y la línea articular del fémur distal) de cada paciente. Se obtuvieron los valores derivados de la TC para la alineación coronal dentro del software del sistema robótico. Debido a su naturaleza y metodología el procedimiento es idéntico en todo momento, por lo que no fue necesario realizar mediciones independientes por parte de observadores separados¹². Sin embargo, todos los casos fueron revisados por un cirujano ortopédico especializado en rodilla.

El uso de TC para medir MPTA y LDFA ha demostrado ser más preciso y reproducible, con buena correlación con las radiografías de pierna entera¹³. La TC supera las dificultades debidas a posicionamiento, rotación, hábitos y contracturas a la hora de evaluar la alineación coronal¹².

Análisis CPAK

Utilizando las mediciones de MPTA y LDFA de cada paciente, se calcularon aHKA (MPTA – LDFA) y JLO (MPTA + LDFA). Estas dos variables aritméticas permiten categorizar a los pacientes en nueve fenotipos de rodilla (I-IX) conforme a la clasificación CPAK⁵. Para JLO, los valores > 183 indican oblicuidad del ápex proximal; 177-183 indican ápex neutro, y < 177, ápex distal. Para aHKA, los valores > 182 indican una alineación en valgo; 178-182, una alineación neutra, y < 178, una alineación en varo.

Todos los pacientes incluidos en el estudio fueron categorizados en nueve fenotipos de rodilla conforme a la clasificación CPAK. Se analizó la distribución CPAK de nuestra población de estudio. Por último, se comparó la distribución CPAK observada en nuestro estudio sobre la base de los pacientes osteoarthriticos españoles con la distribución reportada en el artículo original que incluía una cohorte osteoarthritica de Australia⁵. La cohorte belga no fue considerada para la comparación, dado que se basó en población sana.

Análisis estadístico

Las variables categóricas se resumieron como frecuencias y porcentajes. Se calcularon media y desviación estándar para las variables continuas. Se compararon los grupos mediante las pruebas t de Student y U de Mann-Whitney, de acuerdo con la normalidad. Se utilizó la prueba de Pearson para realizar un análisis de correlación. Todos los valores p fueron bilaterales, y se consideró estadísticamente significativo un valor < 0,05. El análisis se realizó utilizando el software Stata® v.14 (StataCorp, College Station, EE.UU.).

Resultados

Incluimos en el estudio 121 pacientes. La edad media fue de $71,7 \pm 7,5$ años, siendo 73 mujeres (60%) y 48 varones (40%). Los valores medios medidos de MPTA fueron de $87,1 \pm 2,6^\circ$, y los de LDFA, de $87,4 \pm 2,7^\circ$. Se observó una correlación inversa entre MPTA y LDFA, $r = -0,24$ ($p = 0,012$).

Tabla 1 Distribución de aHKA y JLO con relación a la clasificación CPAK de la población española con osteoartritis de rodilla

aHKA		
< -2 (en varo)	- 2 a 2 (neutro)	> 2 (en valgo)
36 (29,8%)	54 (44,6%)	31 (25,6%)
JLO		
< 177 (ápex distal)	177-183 (ápex neutro)	> 183 (ápex proximal)
89 (73,6%)	32 (26,4%)	0 (0%)

La media de aHKA fue de $-0,4 \pm 4,2$, lo cual indicó una alineación nativa media entre el varo neutro y constitucional. El JLO medio calculado fue de $174,5 \pm 3,3$, y el ápex de la línea articular fue distal en la población global de estudio. La distribución de aHKA y la de JLO se muestra en la [tabla 1](#).

La distribución de los fenotipos de rodilla conforme a la clasificación CPAK se muestra en la [figura 1](#). Los fenotipos de rodilla más comunes fueron aquellos con JLO de ápex distal (74%): tipos II (28%), I (23%) y III (23%). Por otro lado, ningún paciente presentó un JLO de ápex proximal: tipos VII, VIII y IX (0%). El 30% de los pacientes reflejaron una alineación de la extremidad inferior en varo (aHKA < -2) y el 26% en valgo (aHKA > 2).

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar la distribución CPAK en los pacientes españoles con osteoartritis de rodilla y la distribución CPAK reportada en el artículo original con población osteoartítica de Australia⁵ ($p > 0,05$). Además, en la [tabla 2](#) se muestra la distribución CPAK de la población osteoartítica de diferentes países.

No se encontraron diferencias entre hombres y mujeres en cuanto a MPTA, LDFA, aHKA, JLO ni en la distribución CPAK ($p > 0,05$).

Discusión

El hallazgo más importante del estudio es que los fenotipos de rodilla más comunes de la población osteoartítica de España fueron los tipos JLO de ápex distal de CPAK (74%: tipos II [28%], I [23%] y III [23%]), que ningún paciente presentó JLO de ápex proximal (tipos VII, VIII y IX). El 30% de los pacientes reflejaron una alineación de extremidad inferior en varo, y el 26% en valgo. La distribución CPAK encontrada en los pacientes osteoartíticos de España fue equivalente a la distribución reportada en Australia.

El estudio CPAK original analizó los fenotipos de rodilla de la población australiana y belga⁵. Posteriormente, Pagan et al.⁹ observaron variaciones relevantes en cuanto a distribuciones CPAK entre las diferentes zonas geográficas. Entre las rodillas artríticas, existió una diferencia significativa en cuanto a prevalencia de los tipos CPAK I y II entre las muestras de Australia (I: 19,4%; II: 32,2%), Francia (I: 33,4%; II: 19,5%), Japón (I: 53,8%; II: 25,4%) e India (I: 58,8%; II: 13,8%). Otros estudios han observado también que la población asiática presenta una alineación en varo, existiendo casos con alineación en varo severa más habitualmente que en Occidente^{10,14-16}. Liu et al. establecieron que la distribución CPAK está demasiado concentrada, al utilizarse en la población de China¹⁵. Por tal motivo, Hsu et al. propusieron modificar la clasificación CPAK para esta población específica, ampliando los límites de aHKA neutro ($0 \pm 3^\circ$)¹⁰. Sin embargo, las distribuciones de los fenotipos son más homogéneas con relación a JLO. Todas las poblaciones osteoartíticas estudiadas presentan una predominancia muy alta de JLO de ápex distal (Japón 87,4%¹⁶, China 80,2%¹⁵, Austria 76,3%¹⁷, China 75,7%¹⁴, India 74%¹⁸, Turquía 73,3%¹⁹, Australia 67%⁵, Francia 63,5%²⁰ y Alemania 61,8%²¹), mientras que la oblicuidad del ápex proximal es extremadamente rara (< 5%) ([tabla 2](#)).

Debido a la alta heterogeneidad de las distribuciones CPAK, es importante estudiar la distribución española espe-

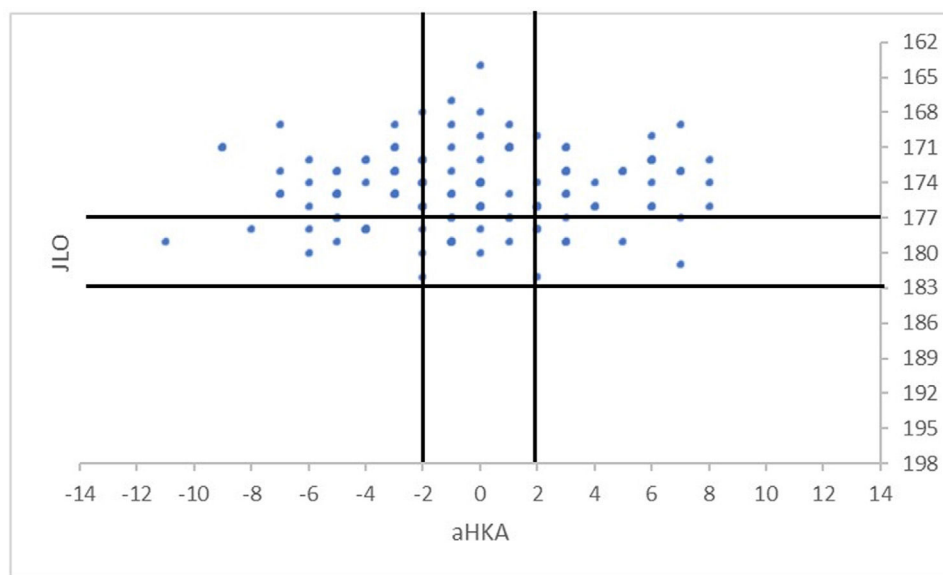
**Figura 1** Distribución de los fenotipos de rodilla de la muestra de población española con osteoartritis de rodilla analizados en este estudio, en virtud de la clasificación CPAK.

Tabla 2 Distribución de los fenotipos de rodilla con relación a la clasificación CPAK en la población osteoartítica de diferentes países

Tipo CPAK	España	Australia	Australia	Japón	Francia	India	China	Turquía	Alemania	Austria
	Pujol et al. (estudio actual)	MacDessi et al.	Tarassoli et al.	Toyooka et al.	Sappey-Mariniér et al.	Mulpur et al.	Gao et al.	Senel et al.	Graichen et al.	Huber et al.
I	23,1%	19,4%	33%	53,8%	33,4%	58,8%	43,6%	28,2%	20,5%	28,1%
II	28,1%	32,2%	27,3%	25,4%	19,5%	13,8%	21,6%	31,6%	30,8%	27,3%
III	23,1%	15,4%	15,9%	8,2%	10,6%	1,4%	10,5%	13,5%	10,5%	20,9%
IV	8,3%	9,8%	3,7%	7,2%	10,2%	18,2%	11,5%	10,3%	12,6%	6,2%
V	11,6%	14,6%	5,7%	4,4%	18,9%	3,4%	7,5%	12,3%	17,8%	7,5%
VI	5,8%	7,4%	12,5%	1,0%	6,3%	1,0%	3,8%	2,5%	7,7%	8,6%
VII	0%	0,6%	0%	0%	0,4%	2,8%	1,1%	1,0%	0%	0,3%
VIII	0%	1,6%	1,1%	0%	0,6%	0,6%	0%	0%	0%	0,3%
IX	0%	0,4%	1,1%	0%	0,1%	0%	0,4%	0,7%	0,5%	0,7%

cífica de los fenotipos de rodilla. Ello puede ayudar a los cirujanos a planificar un procedimiento de ATR más personalizado, optimizando el posicionamiento del componente al considerar la alineación constitucional y la orientación de la línea articular. Nuestra muestra osteoartítica de España presentó también una alta prevalencia (74%) de los tipos JLO de ápex distal de CPAK (II: 28%, I: 23% y III: 23%), mientras que ningún paciente presentó un tipo de ápex proximal (VII, VIII y IX). Nuestra prevalencia de alineación en varo fue del 30% (el valor medio de aHKA fue de $-0,4 \pm 4,2$), haciendo que nuestra distribución de fenotipo CPAK fuera similar a la de otras poblaciones de Europa/Australia, y diferente a los hallazgos de los estudios de Asia. De hecho, las frecuencias de los diferentes tipos CPAK fueron equivalentes al comparar nuestra población española con el estudio CAPK original ($p > 0,05$)⁵. Esto es relevante porque los límites de la matriz CPAK no son arbitrarios, y fueron determinados para ser una desviación estándar de los valores aHKA y JLO medios de su población de estudio. Dado que los límites CPAK originales categorizan a nuestros pacientes españoles de manera similar a la distribución original, no es necesario modificar la clasificación para la población de España.

La clasificación CPAK se ha convertido en una guía popular a la hora de planificar los procedimientos de ATR personalizados¹⁹. Su objetivo es ser un sistema simple de predicción de la alineación preartítica y categorizar los tipos de rodilla⁵. Informa de la alineación de la extremidad inferior y de la oblicuidad articular. Es fácil de usar, dado que solo son necesarias dos medidas radiológicas (MPTA y LDFA) para clasificar a un paciente en la matriz CPAK. Debido a su difusión internacional, puede ser útil también para analizar las diferencias entre poblaciones en cuanto a fenotipos de rodilla⁹.

Aunque esta clasificación puede ser útil para comprender la distribución de la población, presenta algunas limitaciones relevantes.

En primer lugar, algunas personas pueden argumentar que es demasiado simple. Solo evalúa el plano coronal en extensión, obviándose la alineación coronal-flexión, sagital y rotacional. Además, tampoco se consideran el efecto de la carga de peso y la laxitud del tejido blando. La clasificación utiliza una fórmula matemática basada únicamente en dos parámetros aritméticos (aHKA y JLO), describiendo solo nueve fenotipos de rodilla potenciales. Por tanto, pueden sobresimplificarse la complejidad y la variabilidad de la alineación y la anatomía de la rodilla mediante la clasificación CPAK. Hirschmann et al.²² propusieron otra clasificación basada en fenotipos de rodilla funcionales que consideran HKA y líneas articulares tibiofemorales. Por tanto, también se incorpora JLCA al análisis. Esta clasificación lleva a 125 combinaciones potenciales. Defiende que es capaz de describir la alineación coronal altamente variable y presenta toda la información anatómica importante, mientras que no deberá contemplarse cada grupo CPAK como una unidad homogénea, dado que existen múltiples fenotipos dentro de cada tipo^{21,22}. Jenny y Baldaire compararon ambas clasificaciones y concluyeron que no están correlacionadas. Cada una de ellas aporta información diferente y potencialmente complementaria²³.

En segundo lugar, la distribución CPAK es extremadamente heterogénea. En nuestro estudio de 121 pacientes osteoartíticos españoles, el 74% de ellos mostraron un

fenotipo JLO de ápex distal (I, II y III), no presentando ninguno ápex proximal (VII, VIII y IX). Este hallazgo ha sido corroborado en múltiples estudios que analizan la distribución CPAK entre la población osteoartítica a nivel mundial (tabla 2)^{5,14,16,18-21}. Dado que la mayoría de los pacientes están concentrados en unos pocos fenotipos, la clasificación puede ser menos efectiva para categorizar a los pacientes en distintos grupos y guiar el tratamiento personalizado. En nuestro análisis, encontramos una correlación negativa entre MPTA y LDFA ($r = -0,24$), incrementándose el valor de un parámetro al decrecer el otro. Por tanto, es difícil que la suma de ambos parámetros alcance un valor elevado (JLO medio fue de $174,5 \pm 3,3$). Esto puede explicar la rareza de los casos de ápex proximal (MPTA + LDFA > 193).

En tercer lugar, ha sido motivo de preocupación el hecho de si aHKA predice realmente la alineación nativa y JLO indica la oblicuidad real de la rodilla. El grupo CPAK defiende que aHKA estima efectivamente la alineación constitucional. En un análisis radiológico transversal se compararon 500 rodillas artríticas y 500 rodillas sanas⁶, no encontrándose diferencias significativas conforme a aHKA o a la distribución CPAK. En otro estudio de pares emparejados se incluyeron pacientes con osteoartritis de rodilla asimétrica. No se encontraron diferencias al comparar el valor aHKA de la rodilla osteoartítica y HKA de la rodilla sana contralateral⁷. Nomoto et al.⁸ también defendieron que CPAK puede predecir el HKA nativo. Ellos siguieron 60 rodillas durante 8 años, no encontrando modificación en cuanto a aHKA o tipos CPAK. Sin embargo, dado que solo se dispone excepcionalmente de la imagen preosteoartítica, este método es solo una aproximación, desconociéndose la realidad de la anatomía nativa²³. CPAK tiene también ciertas limitaciones a la hora de evaluar el JLO de rodilla²⁴. Solo considera la anatomía ósea de la tibia proximal y el fémur distal, no considerándose la laxitud tisular, el efecto de la carga de peso y el resto de articulaciones. Además, el valor CPAK-JLO puede ser engañoso, dado que no expresa el JLO real sino la relación entre MPTA y LDFA. Por tanto, Hsu et al.¹⁰ modificaron las fórmulas CPAK-JLO para reflejar el JLO real ($90^\circ - (LDFA + MPTA)/2$). Şahbat et al.²⁵ compararon dos métodos diferentes de medir el JLO de rodilla, y concluyeron que la clasificación CPAK detectó la posición real del ápex de la rodilla en menos de la mitad de los casos.

En cuarto lugar, no ha sido demostrada aún la relevancia clínica de mantener el tipo CPAK²³. Tampoco está claro si el fenotipo CPAK predice el comportamiento de la rodilla durante la cirugía ATR, y guía el tratamiento o el pronóstico. Lustig et al.²⁰ defienden que deberá seguirse una estrategia más personalizada para mejorar potencialmente la ATR, aunque, sin embargo, ellos analizaron 1.078 reemplazos de rodilla y encontraron que cambiar el tipo CPAK no influyó en los resultados clínicos. De manera similar, Streck et al.²⁶ analizaron 158 rodillas con osteoartritis en valgo y concluyeron que el fenotipo CPAK individual no influyó en el resultado en este subgrupo de pacientes. Por otro lado, Franceschetti et al.²⁷ estudiaron 180 ATR mecánicamente alineadas y observaron que las rodillas con fenotipo CPAK en varo reflejaron resultados funcionales significativamente inferiores.

Este estudio no carece de limitaciones. 1) El tamaño muestral puede ser relativamente pequeño, aunque es similar al de artículos previos. Además, todos los pacientes

fueron seleccionados de la misma región española. Dichos factores pueden limitar la capacidad del estudio para representar con exactitud la distribución CPAK de la población española. Sin embargo, se incluyeron pacientes de tres centros diferentes, incrementando la representabilidad de nuestro análisis. 2) No se analizó la distribución CPAK de la población sana de España. Decidimos incluir únicamente pacientes osteoartíticos, dado que en este grupo la clasificación CPAK puede tener una repercusión clínica (p.ej., planificar ATR personalizadas). 3) El estudio se basó en la morfología ósea y los datos radiológicos; no se analizaron el comportamiento del tejido blando ni las implicaciones clínicas de la distribución CPAK. Sin embargo, una fortaleza del estudio es que los parámetros radiológicos fueron medidos utilizando la TC rutinaria. Aunque el sistema puede tener algún grado de error, ha demostrado ser más preciso y reproducible, superando las dificultades en cuanto a posicionamiento, rotación, hábito y contracturas.

Conclusiones

Los fenotipos de rodilla más comunes de la población osteoartítica de España fueron los tipos JLO de ápex distal CPAK (74%: II [28%], I [23%] y III [23%]), no presentando ningún paciente un tipo de ápex proximal (VII, VIII y IX). El 30% de los pacientes tuvieron alineación en varo, y el 26%, en valgo. No se encontraron diferencias relevantes entre la distribución CPAK de España y el estudio original. Por tanto, no es necesario realizar modificaciones a la clasificación para la población española.

La clasificación CPAK puede ser útil para describir y categorizar nuestra población española. Sin embargo, deben considerarse limitaciones relevantes para esta clasificación, cuestionando su utilidad para planificar y guiar la cirugía ATR individualizada.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia III.

Financiación

Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de entidades financieras de los sectores público, comercial o sin ánimo de lucro.

Consideraciones éticas

El estudio fue aprobado por el Comité de ética de las tres instituciones, y cumplió los estándares éticos establecidos en la Declaración de Helsinki de 1964.

El Comité de ética de los centros eximió al estudio del requisito de solicitar consentimiento escrito a los pacientes dada su naturaleza retrospectiva, y a que solo utiliza conjuntos de datos radiológicos.

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron de igual manera a este trabajo. Todos los autores contribuyeron a la concepción y

diseño del estudio, la preparación del material y la recopilación y análisis de los datos. El primer borrador del documento fue redactado por OP, comentando todos los autores las diferentes versiones del mismo. Todos los autores leyeron y aprobaron el documento final.

Conflicto de intereses

Ninguno declarado.

Bibliografía

- 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.
- Shatrov J, Battelier C, Sappey-Marinié E, Gunst S, Servien E, Lustig S. Functional alignment philosophy in total knee arthroplasty — rationale and technique for the varus morphotype using a CT based robotic platform and individualized planning. *SICOT J.* 2022;8:11.
- Shatrov J, Foissey C, Kafelov M, Batailler C, Gunst S, Servien E, et al. Functional alignment philosophy in total knee arthroplasty — rationale and technique for the valgus morphotype using an image based robotic platform and individualized planning. *J Pers Med.* 2023;13:212.
- Howell SM, Papadopoulos S, Kuznik KT, Hull ML. Accurate alignment and high function after kinematically aligned TKA performed with generic instruments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21:2271–80.
- MacDessi SJ, Griffiths-Jones W, Harris IA, Bellemans J, Chen DB. Coronal plane alignment of the knee (CPAK) classification: A new system for describing knee phenotypes. *Bone Jt J.* 2021;103-B:329–37.
- Griffiths-Jones W, Chen DB, Harris IA, Bellemans J, MacDessi SJ. Arithmetic hip-knee-ankle angle (aHKA): An algorithm for estimating constitutional lower limb alignment in the arthritic patient population. *Bone Jt Open.* 2021;2:351–8.
- MacDessi SJ, Griffiths-Jones W, Harris IA, Bellemans J, Chen DB. The arithmetic HKA (aHKA) predicts the constitutional alignment of the arthritic knee compared to the normal contralateral knee: A matched-pairs radiographic study. *Bone Jt Open.* 2020;1:339–45.
- Nomoto K, Hanada M, Hotta K, Matsuyama Y. Distribution of coronal plane alignment of the knee classification does not change as knee osteoarthritis progresses: A longitudinal study from the Toei study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023;31:5507–13.
- Pagan CA, Karasavvidis T, Lebrun DG, Jang SJ, MacDessi SJ, Vigdorchik JM. Geographic variation in knee phenotypes based on the coronal plane alignment of the knee classification: A systematic review. *J Arthroplasty.* 2023;38:1892–9.e1.
- Hsu CE, Chen CP, Wang SP, Huang JT, Tong KM, Huang KC. Validation and modification of the coronal plane alignment of the knee classification in the Asian population. *Bone Jt Open.* 2022;3:211–7.
- Saad A, Mayne A, Pagkalos J, Ollivier M, Botchu R, Davis E, et al. Comparative analysis of radiation exposure in robot-assisted total knee arthroplasty using popular robotic systems. *J Robot Surg.* 2024;18:120.
- Tarassoli P, Corban LE, Wood JA, Sergis A, Chen DB, MacDessi SJ. Long leg radiographs underestimate the degree of constitutional varus limb alignment and joint line obliquity in comparison with computed tomography: A radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023;31:4755–65.
- Gieroba TJ, Marasco S, Babazadeh S, di Bella C, van Bavel D. Arithmetic hip knee angle measurement on long leg radiograph versus computed tomography — inter-observer and intra-observer reliability. *Arthroplasty.* 2023;5:35.
- Gao YH, Qi YM, Huang PH, Zhao XY, Qi X. Distribution of coronal plane alignment of the knee classification in Chinese osteoarthritic and healthy population: A retrospective cross-sectional observational study. *Int J Surg.* 2024;110:2583–92.
- Liu L, Lei K, Du D, Lin Y, Pan Z, Guo L. Functional knee phenotypes appear to be more suitable for the Chinese OA population compared with CPAK classification: A study based on 3D CT reconstruction models. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2024;32:1264–74.
- Toyooka S, Osaki Y, Masuda H, Arai N, Miyamoto W, Ando S, et al. Distribution of coronal plane alignment of the knee classification in patients with knee osteoarthritis in Japan. *J Knee Surg.* 2022;36:738–43.
- Huber S, Mitterer JA, Vallant SM, Simon S, Hanak-Hammerl F, Schwarz GM, et al. Gender-specific distribution of knee morphology according to CPAK and functional phenotype classification: Analysis of 8739 osteoarthritic knees prior to total knee arthroplasty using artificial intelligence. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023;31:4220–30.
- Mulpur P, Desai KB, Mahajan A, Masilamani ABS, Hippalgaonkar K, Reddy AVG. Radiological evaluation of the phenotype of Indian osteoarthritic knees based on the coronal plane alignment of the knee classification (CPAK). *Indian J Orthop.* 2022;56:2066–76.
- Şenel A, Eren M, Sert S, Gürpınar T, Çarkçı E, Polat B. Phenotyping of the Turkish population according to coronal plane alignment of the knee classification: A retrospective cross-sectional study. *Jt Dis Relat Surg.* 2024;35:194–201.
- Sappey-Marinié E, Batailler C, Swan J, Schmidt A, Cheze L, MacDessi SJ, 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;30:2806–14.
- Graichen H, Avram GM, Strauch M, Kaufmann V, Hirschmann MT. Tibia-first, gap-balanced patient-specific alignment restores bony phenotypes and joint line obliquity in a great majority of varus and straight knees and normalises valgus and severe varus deformities. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2024;32:1287–97.
- Hirschmann MT, Moser LB, Amsler F, Behrend H, Leclercq V, Hess S. Functional knee phenotypes: A novel classification for phenotyping the coronal lower limb alignment based on the native alignment in young non-osteoarthritic patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27:1394–402.
- Jenny JY, Baldairon F. The coronal plane alignment of the knee classification does not correlate with the functional knee phenotype classification. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023;31:3906–11.
- Ollivier M, Gulagaci F, Sahbat Y, Kim Y, Ehlinger M. Should I optimize joint line obliquity in my knee procedure? *Orthop Traumatol Surg Res.* 2024;110:103882.
- Şahbat Y, Chou TFA, An JS, Gülağacı F, Ollivier M. CPAK classification detect the real knee joint apex position in less than half of the knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2024;32:1548–56.
- Streck LE, Faschingbauer M, Brenneis M, Boettner CS, List K, Kasperek MF, et al. Individual phenotype does not impact the outcome of mechanical aligned total knee arthroplasties for valgus osteoarthritis. *Med Kaunas Lith.* 2023;59:1852.
- Franceschetti E, Campi S, Giurazza G, Tanzilli A, Gregori P, Laudisio A, et al. Mechanically aligned total knee arthroplasty does not yield uniform outcomes across all coronal plane alignment of the knee (CPAK) phenotypes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2024;32:3261–71.