

## Migración del Punto de Contacto Tibio-Femoral y variación del Brazo de Palanca del Ligamento Rotuliano durante la extensión de la rodilla sana, con Ligamento Cruzado Anterior roto y reconstruido

Kenny Pérez<sup>1 2\*</sup>, Darío Santos<sup>2</sup>, Ignacio Ferrer<sup>2</sup> y Franco Simini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología – Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

<sup>2</sup> Núcleo de Ingeniería Biomédica de las Facultades de Medicina e Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

\* phoenix4life10@gmail.com

**Resumen**— Se aplica el método de análisis dinámico de la rodilla CINARTRO a 23 estudios de flexo extensión (90-180 grados) de deportistas masculinos de edad promedio 30 años y peso 70 kg. La migración del Punto de Contacto Tibio Femoral de las rodillas sanas decrece de 80% del Platillo Tibial al 60% en extensión, mientras que, en caso de Ligamento Cruzado Anterior Roto, la inestabilidad se manifiesta con valores erráticos entre el 80 y 40%. La reconstrucción del Ligamento Cruzado Anterior devuelve parcialmente la migración del Punto de Contacto al 60% del Platillo Tibial. En cuanto al Brazo de Palanca del tendón rotuliano las tres condiciones están asociadas a medidas que siguen el mismo patrón del punto de contacto: disminución de 100mm a 80mm al extender la rodilla sana, alta variabilidad entre 80 y 100mm para ligamento roto, restituido a unos 100mm.

**Palabras clave**— **Articulación , CINARTRO, DICOM, Ligamento Cruzado Anterior, Procesamiento de imágenes, Rayos X (Rx), videofluoroscopia.**

### I. INTRODUCCIÓN

Una de las articulaciones más complejas, por su estructura anatómica, fisiología articular y características biomecánicas es la de la rodilla. Además, la rodilla tiene una gran relevancia en las actividades deportivas donde son utilizados los miembros inferiores como el fútbol, fútbol americano o hasta el esquí, deportes en los que pueden ocurrir lesiones como la rotura del Ligamento Cruzado Anterior (LCA).

Hasta el día de hoy la evaluación de estas lesiones se hace en forma estática, mediante imágenes o maniobras clínicas y hasta con simples evaluaciones subjetivas del propio paciente.

Es por ello por lo que se han tratado de utilizar distintos métodos que evalúan de manera cuantitativa y objetiva el estado de la articulación pero que aún se encuentran en etapa de investigación. Uno de los métodos es la migración del Punto de Contacto Tibio-Femoral (PCTF) sobre el Platillo Tibial durante el movimiento de flexo-extensión [1], el cual es uno de los parámetros a usar.

Así, se presenta CINARTRO (“CINE” que significa cinemática y “ARTRO” para arthro, que significa junta o articulación) la primera herramienta encargada de medir dinámicamente el estado y evolución de la articulación de la rodilla (AR), usando imágenes de videofluoroscopia (VFC) que muestran la estructura anatómica en movimiento. Es utilizado en personas después de una lesión del LCA y durante la rehabilitación, dando datos cinemáticos de valor clínico al compararlos con su contraparte sana y los documenta en el registro clínico electrónico. [2]

### II. METODOLOGÍA CINARTRO

CINARTRO es capaz de leer las imágenes de videofluoroscopia en formato DICOM producidas por algún equipo de rayos X, como por ejemplo un arco en C. Se pueden estudiar las rodillas durante el movimiento en cadena cinemática abierta (La toma de la imagen se realiza mientras la persona se encuentra sentada) o cerrada (La imagen se obtiene mientras la persona sube un escalón) . Se describe el procedimiento a continuación:

#### Una vez en CINARTRO :

- Inicia con la adición de los datos del paciente.
- Se agrega el nombre del médico, el equipo de rayos X usado para la toma de imágenes y la institución donde se lleva a cabo el procedimiento.
- Se abren las imágenes a procesar y se asigna un nombre específico para el estudio.
- El operador edita los puntos anatómicos en la sucesión de imágenes (ver Fig. 1)
- A mayor detalle, se definen de manera interactiva las extremidades del Platillo Tibial (PT), el Cóndilo Femoral (CF), el polo inferior de la rótula y la tuberosidad anterior de la tibia. La Fig.1 muestra un ejemplo de la determinación de los puntos.

#### Los parámetros que mide CINARTRO son:

- Punto de contacto del fémur con la tibia.
- Momento del brazo de palanca del tendón rotuliano.

- Ángulo de flexión en cada imagen.

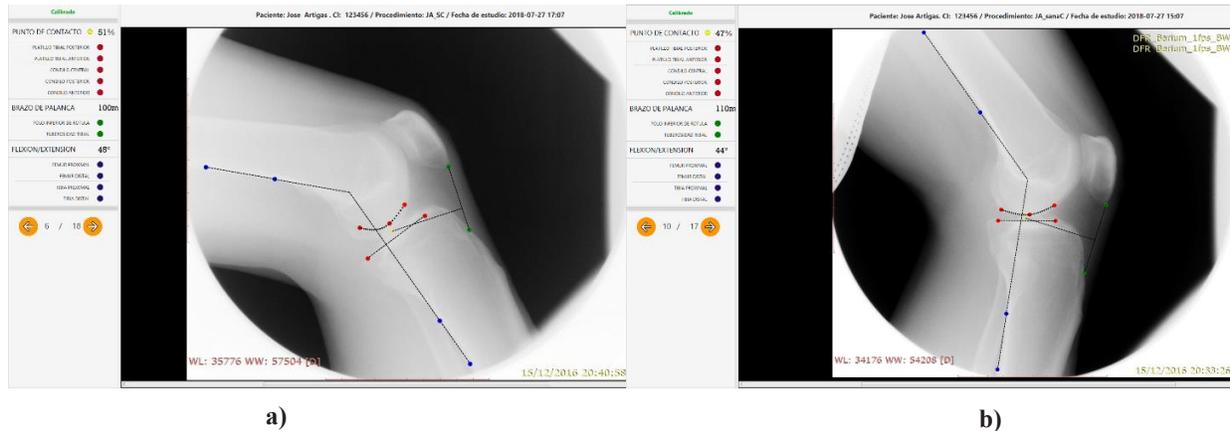


Fig. 1 –Pantalla de CINARTRO, muestra un paciente con rodilla sana con migración del PCTF del 51% y una distancia de 100 mm para el brazo de palanca en cadena abierta (a) y con migración del PCTF del 47% y una distancia de 110 mm para el brazo de palanca en cadena cerrada (b). Ambas a un valor cercano de 45 grados durante la extensión.

- El PCTF es el punto medio entre el platillo tibial y el cóndilo femoral, en cada imagen siguiendo la publicación original [3].
- El momento del brazo de palanca es la distancia entre el segmento de la extremidad de la rótula a la tuberosidad tibial y el centro de rotación. Como aproximación para este centro instantáneo de rotación, se utiliza el PCTF [3].
- Al mostrar la imagen siguiente, CINARTRO deja colocados los puntos para ser corregidos
- CINARTRO genera un informe clínico en dos formatos: PDF (Portable Document Format) y CDA (Clinical Document Architecture)[4].

Con CINARTRO nos proponemos medir y comparar las características de personas con LCA intacto, roto y reconstruido, ya que no hay otra herramienta biomédica igual, dando a conocer por primera vez datos de tipo grupal, barriendo los ángulos de flexo extensión en cadena abierta, es decir con la pierna colgando frente al fotomultiplicador del arco en C, así mismo se presentan los primeros resultados después de un trabajo de alrededor de 7 semanas, obtenidos y evaluados para conocer cómo se comporta la articulación de la rodilla en las circunstancias antes mencionadas.

### III. RESULTADOS

La Tabla I muestra la cantidad de personas estudiadas. La muestra de personas tiene las características de la Tabla II, de la cual se deduce que realizamos el análisis de 23 series de imágenes de VFC. Todos hombres de edades cuyo promedio

es de 30 años, generalmente deportistas y de peso promedio 70 Kg.

TABLA I Pacientes separados por el estado de sus rodillas

Estado fisiológico	N. de pacientes	
	PCTF	Brazo de palanca
SANA	5	4
ROTO	5	5
RECONSTRUIDO	2	2

TABLA II Características físicas y anatómicas de los pacientes.

Estado del Ligamento	Características promedio
Cruzado Anterior	
SANA	
ROTO	Todos hombres, medias de 30 años y 70kg
RECONSTRUIDO	

### MIGRACION DEL PUNTO DE CONTACTO

#### A. Rodilla sana

En la Figura 2 se aprecia la evolución grupal de la migración del PCTF desde una ubicación del orden del 70% del platillo tibial tomado en dirección postero-anterior, en flexión de rodilla, acercándose a ubicaciones más anteriores, del orden del 40% del PT. Este resultado es compatible con las descripciones anatómicas de la fisiología de la rodilla sana.

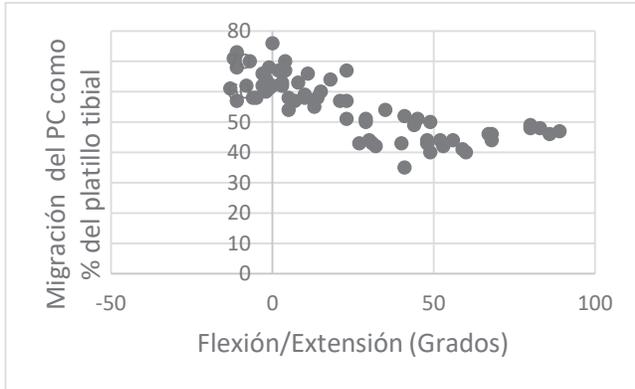


Fig. 2 – Migración del PCTF en pacientes sanos, deducida con CINARTRO.

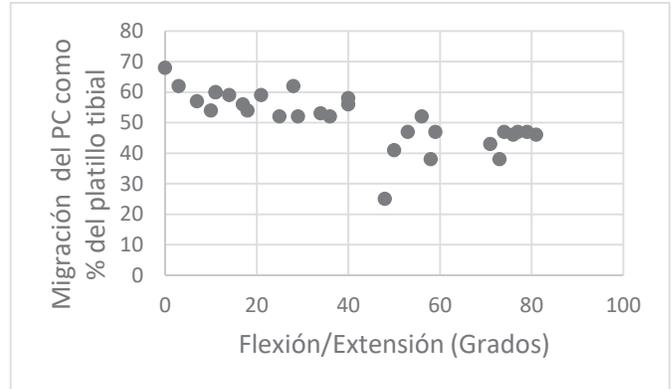


Fig. 4 – Migración del PCTF en rodillas con LCA reconstruido, deducida con CINARTRO.

*B. Rodilla con LCA roto*

La Figura 3 reporta una situación mucho más variable, resultado de la inestabilidad intrínseca de la rodilla con LCA roto. Con una ubicación inicial indeterminada entre 40% y 80% en flexión, las personas con LCA roto evolucionan sin patrón evidente manteniendo la variabilidad de posición del PCTF entre 40% y 80% hasta la extensión completa del miembro inferior.

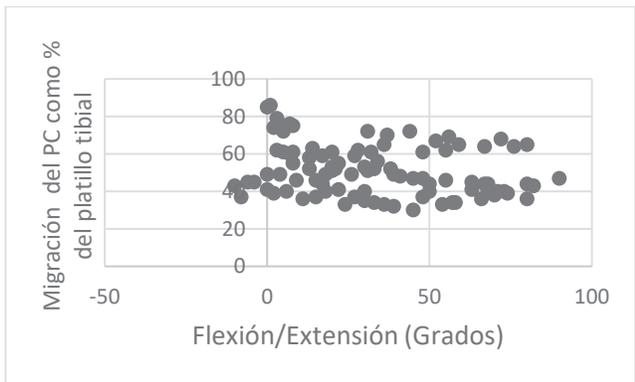


Fig. 3 – Migración del PCTF en rodillas con LCA roto, deducida con CINARTRO.

*C. Rodilla con LCA reconstruido*

En la muestra de personas solamente disponemos de dos personas con LCA roto y reconstruido, representados en la Figura 4. Allí se observa un comportamiento que vuelve a imitar el de la articulación intacta, es decir con una tendencia a acercar el PCTF a la extremidad anterior del PT (40% aproximadamente) al final de la extensión. En flexión, al igual que en el caso de LCA intacto, el PCTF se ubica cerca del 75% del PT.

BRAZO DE PALANCA DEL LIGAMENTO ROTULIANO

*A. Rodilla sana*

En las rodillas sanas se observa un brazo de palanca del orden de 60 mm, a lo largo de todo el movimiento de flexo extensión, con cierta tendencia a su acortamiento, tal como está descrito en publicaciones de fisiología.

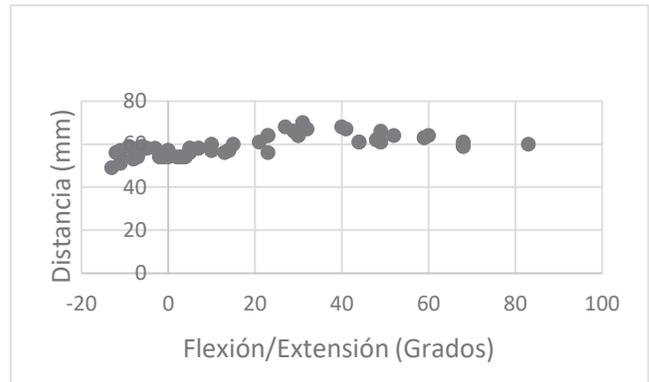


Fig. 5 –Brazo de palanca aplicado por el tendón rotuliano en rodilla sana.

*B. Rodilla con LCA roto*

Al igual que en el caso de la migración del PCTF, el brazo de palanca muestra una variabilidad aumentada a lo largo de la flexo-extensión de miembros inferiores con LCA roto. Se observa en la Figura 6 una tendencia al acortamiento del brazo de palanca, sin consistencia, dado que la inestabilidad de la articulación explica este comportamiento.

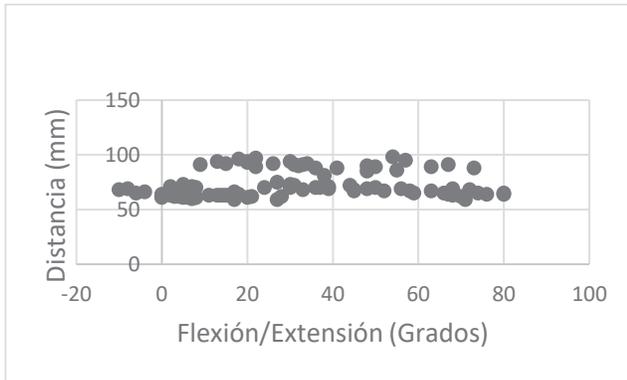


Fig. 6 – Brazo de palanca aplicado por el tendón rotuliano en rodilla con el LCA roto.

### C. Rodilla con LCA reconstruido

Nuevamente símil al comportamiento del alcance de la migración del PCTF en caso de LCA reconstruido, en la Figura 7 se observa que el brazo de palanca de los dos pacientes combinados se alinea con el valor de sus miembros contralaterales sanos, no lejos de los 100 mm.

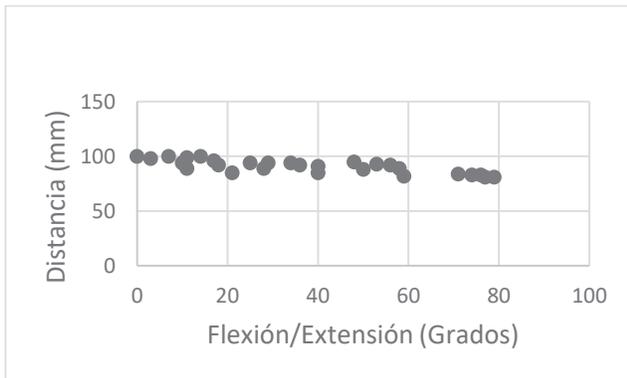


Fig. 7 –Brazo de palanca aplicado por el tendón rotuliano en rodilla con el LCA reconstruido.

## IV. DISCUSION Y CONCLUSION

CINARTRO es la primera herramienta que logra hacer una evaluación dinámica de la AR dando datos de importancia clínica.

Las primeras evaluaciones conjuntas de parámetros de utilidad en la clínica muestran un comportamiento diferente en caso de LCA intacto y roto. Se observa una variabilidad de medidas mayor en caso de articulación lesionada, como era de esperarse desde la clínica que efectivamente percibe esa

característica. Confirmando con medidas objetivas deducidas de imágenes de VFC lo actuado por el cirujano, el brazo de palanca y la migración del PCTF de rodillas cuyo LCA fue reparado se ve más próximo a la situación previa a la lesión, es decir que se comprueba la restitución parcial de la funcionalidad dinámica.

Con el uso de CINARTRO en poblaciones de personas sometidas, no solamente a la operación de reparación del LCA pero también a la rehabilitación posterior, se irán definiendo los parámetros de normalidad que serán utilizados para la toma de decisiones en las diferentes etapas del proceso asistencial.

## RECONOCIMIENTOS

El autor K.P. agradece a sus padres, gracias a quienes fue posible la asistencia al Núcleo de Ingeniería Biomédica (NIB), en Montevideo, Uruguay; a sus asesores en la Unidad Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional, que brindaron los conocimientos y experiencia necesaria para poder llevar a cabo la estancia y a los asesores y personal del NIB, que sin duda hicieron que fuera una gran experiencia personal, emocional y académica su estancia en Uruguay.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] D. Santos, W. Olivera, M. Rodríguez, F. Massa, and F. Simini, "Quadriceps Moment Arm with Migration of Tibiofemoral Contact Point to Evaluate ACL Reconstruction during Rehabilitation," in *XIV International Symposium on 3d Analysis of Human Movement*, 2016, p. 4.
- [2] F. Simini, D. Santos, J. Artigas, V. Gigirey, L. Dibarboure, and L. Francescoli, "Measurement of knee articulation looseness by videofluoroscopy image analysis: CINARTRO," *Med. Imaging Radiol.*, vol. 5, no. 4, p. 6, 2017.
- [3] W. Olivera, M. Rodríguez, D. Santos, and F. Simini, "CINARTRO: Clinical Tool to Assess Knee Kinematics by Videofluoroscopy," in *VII Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB*, 2016, pp. 1–4.
- [4] F. Simini and D. Santos, "Anterior Cruciate Ligament reconstruction follow-up instrumentation based on Centre of Rotation videofluoroscopy determination: Development of an original equipment, CINARTRO, and first clinical use," in *Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2014, pp. 923–926.