



# Revista Chilena de Ortopedia y Traumatología

www.elsevier.es/RCHOT



ORIGINAL

## Cinemática fisiológica de rodilla en futbolistas amateur: Análisis 3D

R. Guzmán<sup>a</sup>, M. Cohens<sup>a</sup>, R. Hidalgo<sup>a</sup>, C. Rosales<sup>a</sup>, O. Valencia<sup>a</sup>, J. Matas<sup>b</sup>, D. Amenabar<sup>b</sup> y M. Orrego<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>Laboratorio Integrativo de Biomecánica y Fisiología del Esfuerzo (LIBFE). Escuela de Kinesiología. Facultad de Medicina Universidad de los Andes. Santiago. Chile

<sup>b</sup>Departamento de Traumatología. Escuela de Medicina. Facultad de Medicina Universidad de los Andes. Santiago. Chile

Recibido el 31 de marzo de 2015; aceptado el 15 de julio de 2015

### PALABRAS CLAVE

fútbol; cinemática de rodilla; lesión de LCA.

### Resumen

**Introducción:** La lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) tiene un alta prevalencia en jugadores de fútbol. En esta disciplina, las carreras con cambios de dirección son frecuentes y pueden ser un factor de riesgo para el desarrollo de lesiones del LCA sin contacto.

**Objetivo:** Describir en futbolistas jóvenes los rangos cinemáticos fisiológicos de rodilla sometida a tareas funcionales con cambios bruscos de dirección.

**Método:** En una muestra de ocho futbolistas con rodillas clínicamente sanas, se evaluó, mediante un sistema de análisis de movimiento 3D, la cinemática de la rodilla de apoyo durante la ejecución de tres tareas funcionales, dos de estas implicaron cambios de dirección en 90° (CD90°) y 180° (CD180°), la tercera golpear un balón (GB). Los rangos fisiológicos de movimiento (ROM) fueron registrados y comparados en la misma rodilla en tres planos diferentes (T-Transversal; F-Frontal; S-Sagital).

**Resultados:** Los rangos fisiológicos obtenidos fueron para las tareas funcionales CD90°: T 11° (13-8), F 5.6° (11-4) y S 22° (30-17); para CD180°: T 9° (12-8), F 6.3° (8-5) y S 17.6° (21-14); y para GB: T 9° (10-5), F 3.8° (10-2), y S 9.6° (15-6). El ROM fue significativamente mayor en el plano transversal para la tarea CD90°. En el plano sagital el ROM fue mayor para CD90° comparado con GB ( $p < .05$ ), sin embargo no hubo diferencias respecto a la tarea CD180°. No existen diferencias del ROM en el plano frontal.

**Conclusión:** Se logró describir los rangos cinemáticos fisiológicos de la rodilla durante la ejecución de tres tareas funcionales que implicaron cambios bruscos de dirección en futbolistas amateur. En la muestra evaluada, la prueba que produjo una mayor exigencia de los rangos articulares de rodilla en los planos transversal y sagital fue la prueba con cambio de dirección en 90°.

© 2015, Sociedad Chilena de Ortopedia y Traumatología. Publicado por ELSEVIER ESPAÑA, S.L.U. Este es un artículo Open Acces distribuido bajo los términos de la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

\*Autor para correspondencia.

E-mail: mario.orrego@gmail.com ; morrego@miuandes.cl (M. Orrego)

**KEYWORDS**

Soccer, knee kinematics, ACL injury.

**Physiological kinematics of the knee in amateur soccer players: a 3D analysis****Abstract**

**Introduction:** Anterior cruciate ligament (ACL) lesions are frequent among soccer players. In this sport cutting movements are usually made while running and may be a risk factor in developing non-contact ACL injuries.

**Purpose:** To describe the physiological kinematics of the knee during sudden change of direction movements in amateur soccer players.

**Methods:** Eight amateur soccer players without previous injuries were analysed. The kinematics of the support knee were evaluated using 3D motion analysis while executing 3 common manoeuvres: two of them involved a change of direction at 90° and 180° (CD90° and CD180°), and the third while kicking a ball (GB). Physiological articular ranges of motion (ROM) were recorded and compared for the same knee in three different planes (T- Transversal; F- Frontal; S- Sagittal).

**Results:** The physiological ranges obtained were, for manoeuvre CD90°: T 11° (13-8), F 5.6° (11-4) and S 22° (30-17); for CD180°: T 9° (12-8), F 6.3° (8-5) and S 17.6° (21-14); and for GB: T 9° (10-5), F 3.8° (10-2), and S 9.6° (15-6). ROM was significantly greater in the transversal plane for the CD90° manoeuvre ( $P < .05$ ). In the sagittal plane, ROM was greater for the CD90° when compared to the GB ( $P < .05$ ), but no differences were seen when compared to the CD180° manoeuvre ( $P > .05$ ). There were no differences in ROM in the frontal plane.

**Conclusion:** A description of the physiological kinematic ranges of the knee during three sudden changes of direction manoeuvres in amateur soccer players was presented. According to our results, change of direction in 90° demands a higher range of motion in both the transversal and sagittal planes.

© 2015, Sociedad Chilena de Ortopedia y Traumatología. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons CC BY-NC ND Licence (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

**Introducción**

La literatura describe una alta incidencia de lesiones de rodilla secundarias a la práctica del fútbol, y una de las más importantes es la lesión del ligamento cruzado anterior (LCA)<sup>1</sup>. Un gran porcentaje de las lesiones del LCA no involucran contacto con otro jugador, pero sí cambios bruscos de dirección<sup>2</sup>. En la actualidad no existe consenso respecto a los criterios disponibles para indicar el reintegro deportivo a pacientes que han sufrido cirugía de reconstrucción del LCA. Se utilizan con frecuencia evaluaciones imagenológicas, pruebas de estabilidad estáticas como el KT 1000, evaluaciones de fuerza muscular, test funcionales y de propiocepción<sup>3</sup>. Sin embargo, cabe la duda de si estas pruebas son realmente sensibles a exigencias de estabilidad femorotibial que puedan acontecer en situaciones reales de la práctica deportiva. Con el fin de disminuir el riesgo de lesiones sería conveniente contar con un set de tareas funcionales que reflejen la cinemática de la rodilla sometida a cambios bruscos de dirección que asemejen los gestos habitualmente ejecutados durante la práctica deportiva. La confección de dichas tareas requiere, como paso inicial, conocer la cinemática de la articulación femorotibial normal enfocado en los rangos de movimiento en varo-valgo y rotaciones durante la ejecución de tareas motoras similares a las realizadas en el fútbol. El objetivo principal de este estudio fue describir en futbolistas amateur los rangos cinemáticos fisiológicos de rodilla durante la ejecución de tres tareas funcionales que implicaron cambios bruscos de dirección. Como objetivo secundario, y de manera exploratoria, se compararon los rangos articulares entre las tres tareas.

**Material y métodos**

**Diseño del estudio:** estudio observacional descriptivo<sup>4</sup>.

**Participantes:** ocho voluntarios, reclutados mediante un muestreo por conveniencia aplicando los siguientes criterios de inclusión: varones futbolistas no profesionales, edad entre 18-35 años, físicamente activo (práctica deportiva tres veces por semana durante 30 min o más), examen traumatológico normal con énfasis en la estabilidad articular. Se aplicaron los siguientes criterios de exclusión: lesiones previas de extremidad inferior dentro de los últimos seis meses, antecedentes de cirugía de extremidad inferior y/o columna, dolor musculoesquelético de extremidad inferior y/o tronco.

**Aspectos bioéticos:** los voluntarios fueron informados acerca de los objetivos y procedimientos del estudio. Todas sus dudas fueron aclaradas por los investigadores. Posteriormente, se solicitó su consentimiento de forma escrita y firmaron un documento de consentimiento informado. Todos los procedimientos de este estudio estuvieron de acuerdo con la Declaración de Helsinki (1975) y fueron aprobados por el Comité de Bioética del Servicio de Salud Metropolitana Oriente.

**Procedimiento:** Todos los voluntarios fueron sometidos a un examen clínico por un médico especialista en traumatología. Posteriormente, se consignaron las siguientes medidas antropométricas de los voluntarios: peso, talla, longitudes de las extremidades inferiores (distancia entre la espina iliaca anterosuperior y el ápice del maléolo medial) y los diámetros intercondilar de rodilla e intermaleolar de tobillo, estos últimos fueron medidos mediante un paquímetro (Innovare 16 cm. Robchar. Argentina). Los datos antropomé-

tricos fueron usados para la aplicación de un modelo biomecánico. Luego, cada voluntario fue instruido para realizar las siguientes tareas funcionales (TF):

1. Carrera con cambio de dirección de  $180^\circ$  (CD180°): Voluntario ubicado a 7 m de distancia de la plataforma de fuerza, debió correr hacia ella; en el momento en que uno de los pies tomara contacto con una de las plataformas, el voluntario debió generar un giro en  $180^\circ$  para volver al punto de origen (figura 1A).
2. Carrera con cambio de dirección en  $90^\circ$  (CD90°): Voluntario ubicado a 7 m de distancia de la plataforma de fuerza, debe correr hacia ella; en el momento en que uno de sus pies tomara contacto con una de las plataformas de fuerza, debió realizar un cambio de dirección en  $90^\circ$  en dirección opuesta a la pierna de apoyo (figura 1B).
3. Golpe de balón (GB): Voluntario ubicado a 7 m de distancia de la plataforma de fuerza, debe correr hacia ella; en el momento en que uno de sus pies tomara contacto con la plataforma de fuerza, debió patear un balón con la extremidad contralateral (figura 1C).

Los voluntarios fueron instruidos en la ejecución de las TF, en primera instancia mediante un vídeo demostrativo, y posteriormente realizaron una serie de repeticiones de cada tarea para que el voluntario pudiera familiarizarse con estas. Las repeticiones se consideraron válidas cuando el pie contactó por completo y de manera única dentro del área comprendida por las plataformas de fuerza. Se realizaron tantas repeticiones como fuese necesario para obtener tres tareas válidas para cada extremidad (derecha e izquierda). Se utilizó un periodo de descanso entre cada prueba de 1 min. El orden, tanto de las tareas como del lado de ejecución (derecha e izquierda) fueron asignados de manera aleatoria. En el caso de la dirección (derecha e izquierda), esta fue indicada durante la ejecución de la prueba mediante un sistema de flechas luminosas, las cuales le indicaron al voluntario la dirección hacia la cual debía hacer el cambio de dirección o bien patear el balón. La flecha correspondiente se encendió cuando el voluntario atravesó un láser que se encontraba a 2,75 m de la plataforma de fuerza, y se activó, aproximadamente, 500 m antes del contacto del pie con la plataforma.

**Instrumentación:** La cinemática tridimensional de la rodilla fue registrada mediante un sistema de análisis de movimiento 3D (Vicon System. USA). Este sistema evaluó la cinemática de los segmentos corporales mediante el registro de la posición y desplazamiento (medido en grados de traslación) de 16 marcadores reflectantes ubicados sobre la piel de las extremidades inferiores y pelvis. Estos marcadores fueron fijados con cinta doble contacto hipoalérgica según el modelo biomecánico "Plug&Gait"<sup>5</sup>. Las posiciones de los marcadores fueron registradas con ocho cámaras infrarrojas (T-series®. Vicon Corp. USA), que capturaron las imágenes a una frecuencia de 200Hz. Las posiciones de los marcadores y las medidas antropométricas fueron integradas en un *software* de análisis biomecánico (Nexus®. Vicon Corp. USA), para obtener los movimientos de la rodilla en los planos transversal (rotaciones interna-externa), frontal (varo-valgo) y sagital (flexión-extensión). También se utilizaron tres plataformas de fuerza (FP-4000®. Bertec Corp. USA) empotradas en el piso con la finalidad de definir el inicio y término de las ventanas de análisis de cada una de



A



B



C

**Figura 1** Vista frontal de las tareas funcionales evaluadas. A: carrera con cambio de dirección en  $180^\circ$ . B: carrera con cambio de dirección en  $90^\circ$ . C: GB: de balón.

las tareas evaluadas. Los datos de estas plataformas fueron registradas a una frecuencia de 2000Hz.

**Procesamiento de datos:** Se realizó utilizando un programa de análisis de movimiento (Polygon®. Vicon Corp. USA). Para cada una de las TF, se analizó la cinemática de la rodilla de la extremidad pivoteante (EIP). Se consideró pivoteante la extremidad que permaneció fija en contacto con la plataforma. Se definió una ventana temporal de análisis, el inicio de esta ventana fue el contacto inicial del pie de la EIP con una de las plataformas y el fin fue el despegue del mismo pie desde dicha superficie. Se analizaron seis repeticiones para cada voluntario (tres derecha y tres izquierda). Dentro de cada ventana se midieron los rangos articulares de rodilla (máximo menos mínimo) para los tres planos de movimiento: transversal (rotación), frontal (varo-valgo) y sagital (flexo-extensión). Para minimizar el sesgo producido por las diferentes velocidades de ejecución de las tareas, los rangos fueron ajustados a la velocidad del voluntario en el momento de contactar con la plataforma de fuerza. Para

cada voluntario, se obtuvo el promedio de las seis tareas registradas para cada una de las tareas.

**Análisis estadístico:** Se realizó una estadística descriptiva de los datos y se estudió el tipo de distribución de estos mediante una prueba de Shapiro-Wilk. La comparación de los rangos articulares fue hecha mediante una prueba de Friedman y un post de Dunn's. Todos los análisis estadísticos fueron hechos asumiendo dos colas, un nivel de confianza de un 95% y las diferencias significativas fueron consideradas con un valor  $p < 0,05$ .

## Resultados

La características demográficas de la muestra fueron las siguientes: edad:  $21,1 \pm 1,6$  años; masa:  $76,3 \pm 6,9$  kg; talla:  $176 \pm 5$  cm; IMC:  $24,6 \pm 1,3$  kg/m<sup>2</sup>. Las medianas y los rangos intercuartílicos para los rangos articulares en los tres planos de análisis son mostrados en la tabla 1 ajustados a la velocidad.

La comparación de los rangos de movimiento ajustados a la velocidad entre las tareas mostró el mayor rango de traslación en el plano transversal (rotación de rodilla) y sagital (flexo-extensión) durante la prueba de CD90° ( $p < 0,05$ ). En el plano frontal no se registraron diferencias significativas entre las tareas.

## Discusión

En este estudio se describieron los movimientos femorotibiales de la extremidad pivoteante, durante la realización de tres TF en una muestra de futbolistas no profesionales con rodillas clínicamente estables. Los rangos articulares registrados se encontraron dentro de los rangos fisiológicos de la femorotibial<sup>6</sup>. Conocer la cinemática de esta extremidad durante la realización de estas TF podría contribuir a mejorar el proceso de reintegro deportivo y disminuir el riesgo de segunda lesión. Dentro de las tareas evaluadas, se observó una diferencia significativa para el rango de rodilla en el plano transversal. Esto implicó que el CD90° requiere de un mayor rango rotación de rodilla para su ejecución en comparación con las otras dos tareas (GB y C180°). Esto último también puede ser interpretado como que esta tarea motora produce un mayor estrés de rotación de la rodilla en comparación con el GB y CD180°. Del mismo modo, en la prueba de CD90° se registró un rango de flexión-extensión mayor que el GB, pero no existió una diferencia con la prueba de CD180°. Al analizar el plano frontal (varo-valgo), no se observó diferencia entre los rangos articulares de las tres tareas. Sin embargo, las tareas de CD90° y CD180° registraron una tendencia a un mayor rango de varo-valgo que la de GB (tabla 1).

Los rangos articulares en el plano frontal reportados en el presente trabajo están por encima de los informados por Georgoulis et al<sup>7</sup> (4°), sin embargo, este autor evaluó la marcha sin ningún cambio de dirección. Mientras que el mismo autor reporta valores de 18° de rotación de rodilla en cambios de dirección durante tareas a baja velocidad<sup>8</sup>. Por otro lado, los rangos registrados en el plano frontal son similares a los reportados en que realizaron una prueba funcional con cambios de dirección (15°)<sup>9</sup>.

**Tabla 1.** Medianas y rangos intercuartílicos (entre paréntesis) de los rangos articulares de rodilla ajustados a la velocidad durante las tres tareas funcionales en los tres planos de movimiento.

Plano	CD90° (° /m/s)	CD180° (° /m/s)	GB (° /m/s)
Transversal	11,1 <sup>a</sup> (13,1-8,0)	9,0 <sup>a</sup> (11,9-7,7)	9,0 <sup>a</sup> (10,1-5,3)
Frontal	5,6 (11,0-4,1)	6,3 (7,6-5,2)	3,8 (9,8-2,1)
Sagital	22,34 <sup>b</sup> (30,0-17,3)	17,6 (21,0-13,8)	9,6 <sup>b</sup> (14,9-5,9)

CD90°: carrera con cambio de dirección en 90°; CD180°: carrera con cambio de dirección en 180°. GB: golpe de balón. <sup>a</sup>En la tarea de C90° se observó un mayor rango de movimiento que en las tareas CD180° y GB ( $p < 0,05$ ). <sup>b</sup>El rango de movimiento en el plano sagital fue mayor en la prueba CD90° en comparación con el GB ( $p < 0,05$ ).

La prueba CD90° es, claramente, una prueba con un brusco cambio de dirección que exige que una de las extremidades inferiores actúe como un pivote, esto implica que la rodilla pivoteante sea reclutada en el sentido de la rotación, movimientos que justamente tensan el LCA. Por ello, esta tarea podría poner de manifiesto la capacidad de este ligamento para limitar este rango de movimiento. Sin embargo, el LCA no es el único responsable de lograr la estabilidad. Se debe considerar que la cinemática de una articulación es el producto de las fuerzas externas (fuerza de reacción del piso, fuerza de roce entre la extremidad y el piso, etc.) e internas (fuerza muscular, tensión capsular y ligamentosa, etc.) que actúan sobre ella. De esta forma, la cinemática articular puede ser considerada como el resultado final de los mecanismos mecánicos y neuromusculares implicados en la estabilidad articular. Por ello, la cinemática femorotibial, durante la ejecución de una tarea motora, tal como la prueba CD90°, podría permitir cuantificar la capacidad de mantener la estabilidad articular en una condición funcional, información que podría ser útil en la indicación y control del proceso de reintegro deportivo.

Una limitación de este estudio es el tamaño pequeño de la muestra, la cual no tiene una base poblacional. Por otro lado, un factor que no se controló fue la velocidad de ejecución de las tareas motoras. Sin embargo, todos los voluntarios iniciaron la ejecución de las tareas desde la misma distancia hasta donde se registraron los datos, esto implica que la velocidad desarrollada, podría ser muy similar entre los voluntarios. Para descartar cualquier sesgo producido por este factor, los datos de cinemática fueron ajustados a la velocidad de ejecución. Los resultados de este estudio demuestran que, durante la evaluación de tareas funcionales que impliquen eventos de alta, o relativamente alta velocidad, es necesario ajustar los resultados a la velocidad desarrollada. Esto queda de manifiesto en el momento de comparar los rangos articulares en el plano frontal sin ajustar. Esta comparación no mostró diferencias significativas entre las tareas. Sin embargo, al ajustar estos rangos, si se encontraron diferencias. El hecho de comparar datos sin ajuste a la velocidad, implica un sesgo, que con este procedimiento, resulta ser controlado.

Una tercera limitante de este estudio fue que no se consideró el grado de torsión tibial de cada voluntario, factor que pudo influenciar los valores máximos de rotación. Por esta razón, también se registraron los valores de rango, los cuales no estarían influenciados por este factor morfológico. Otra limitación de este estudio es, sin duda, las condiciones de ejecución de las tareas motoras. Estas fueron registradas en un ambiente de laboratorio, usando las superficies de la plataforma de fuerza, lo que implica coeficientes de roce muy distintos a los observados en una cancha de fútbol.

Futuros estudios en pacientes sometidos a reconstrucción de LCA deben describir la cinemática femorotibial en tareas motoras con cambios de dirección asociadas a la práctica del fútbol. También deberían realizarse la comparación de este grupo con sujetos con rodillas estables e indemnes, así como también determinar si las posibles diferencias en la cinemática son, efectivamente, factores de riesgos para re-rotura del injerto.

## Conclusión

Se logró describir los rangos cinemáticos fisiológicos de rodilla durante la ejecución de tres tareas funcionales que implicaron cambios bruscos de dirección en futbolistas amateur.

En la muestra evaluada, la prueba que produjo mayor exigencia de los rangos articulares de rodilla fue la prueba con cambio de dirección en 90°.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

1. Waldén M, Hägglund M, Magnusson H, Ekstrand J. Anterior cruciate ligament injury in elite football: a prospective three-cohort study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19:11-19.
2. Waldén M, Krosshaug T, Bjørneboe J, Andersen TE, Faul O, Hägglund M. Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: a systematic video analysis of 39 cases. *Br J Sports Med.* 2015 Apr 23. pii: bjsports-2014-094573. doi: 10.1136/bjsports-2014-094573.
3. Barber-Westin SD, Noyes FR. Objective criteria for return to athletics after anterior cruciate ligament reconstruction and subsequent reinjury rates: a systematic review. *Phys Sportsmed.* 2011;39:100-10. doi: 10.3810/psm.2011.09.1926.
4. Grimes DA, Schulz KF. An overview of clinical research: the lay of the land. *The Lancet.* 2002;359:57-61.
5. Duffell LD, Hope N, McGregor AH. Comparison of kinematic and kinetic parameters calculated using a cluster-based model and Vicon's plug-in gait. *Proc Inst Mech Eng H.* 2014;228:206-10. doi: 10.1177/0954411913518747. Epub 2014 Jan 21.
6. Nordin M & Frankel VH. *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System.* 4<sup>th</sup> Edition. 2011. Chapter 7. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore, MD.
7. Georgoulis AD, Papadonikolakis A, Papageorgiou CD, Mitsou A, Stergiou N. Three-dimensional tibiofemoral kinematics of the anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knee during walking. *Am J Sports Med.* 2003;31(1):75-9.
8. Georgoulis AD, Anastasios D., Ristanis, Stavros, Moraiti, Constantina O., et al. "Three-dimensional kinematics of the tibiofemoral joint in ACL-deficient and reconstructed patients shows increased tibial rotation" (2005). *Journal Articles.* Paper 142. <http://digitalcommons.unomaha.edu/biomechanicsarticles/142>.
9. Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Med Sci Sports Exerc.* 2003 Oct;35(10):1745-50.