

ARTICULO ORIGINAL

Comparación de la Cinemática 3D de la Articulación de la Rodilla entre Hombres y Mujeres Futbolistas durante Tareas Funcionales asociadas a Practica del Fútbol

Guzmán-Venegas R; ¹Acuña K¹; Ibaceta V¹; Palma F¹, Valencia O¹

Resumen

Introducción. La articulación de la rodilla es una de las más propensas a sufrir lesiones en el ambiente deportivo, siendo la ruptura del ligamento cruzado anterior (LCA) una de las más importantes asociadas a la práctica del fútbol. Se ha descrito que, en mujeres, la incidencia de esta lesión es dos veces mayor que en hombres, lo que ha sido atribuido a diversos factores biomecánicos, entre ellos las diferencias cinemáticas registradas en los gestos deportivos. **Objetivo.** El presente estudio buscó comparar la cinemática de la rodilla entre hombres y mujeres futbolistas, durante la ejecución de tres tareas funcionales (TF) asociadas a la práctica de este deporte: finta en 90° (F90°), carrera con cambio de dirección en 180° (CD180°) y golpe de balón (GB). **Métodos.** Se evaluaron 12 mujeres y 12 hombres futbolistas amateur entre 18-25 años, en los cuales se midió la cinemática tridimensional de la rodilla durante la ejecución de tres TF. **Resultados.** Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos sexos en la tarea de CD180° en el plano transversal ($p=0,030$) y en el plano frontal en la prueba F90° ($p=0,040$). En los hombres la TF que mostró mayor rango de rotación fue la de F90° ($p=0,010$), mientras que en mujeres las TF de CD180° y F90° mostraron mayores rangos de rotación en comparación a la de GB ($p=0,010$ y $p=0,040$ respectivamente). **Conclusión.** Las mujeres de la muestra evaluada presentaron mayores rangos de rotación y valgo en las TF con cambios de dirección, lo cual podría ser un factor biomecánico asociado a la mayor prevalencia de lesiones del LCA registrada en mujeres futbolistas. Junto con ello, se evidenció que la TF que más exigió los movimientos de rotación de rodilla, tanto en hombres como en mujeres, fue la F90° y, en el caso de este último grupo, también se agrega el CD180°

Palabras claves: Fútbol, tareas funcionales, ligamento cruzado anterior.

Introducción

La articulación de la rodilla es una de las más grandes y complejas del cuerpo humano, y a la vez, en el contexto deportivo, la más propensa a sufrir lesiones, por lo que su análisis cinemático y cinético resulta de gran importancia clínica y científica. Dentro de esta articulación, el ligamento con más incidencia de lesiones es el cruzado anterior (LCA)^{1,2}. Dicha incidencia está relacionada a movimientos con cambios bruscos de dirección asociados a estrés en rotación, valgo o hiperextensión de la rodilla^{1,2}. Diferentes estudios han demostrado que la tasa de lesiones del LCA es mayor en deportes con contacto como el fútbol y, a la vez, estas resultan ser dos veces más frecuentes en mujeres^{3,4}. Se han identificado algunos

determinantes intrínsecos que posiblemente sean la causa de esta mayor incidencia. Entre estos se encuentran factores hormonales, patrones neuromusculares, antropométricos, entre otros^{3,4}. Las diferencias cinemáticas de rodilla durante la ejecución de tareas con cambios de dirección, podría ser otro factor asociado a lesiones del LCA en mujeres^{6,7}. Sin embargo, existen escasos antecedentes en la literatura que describan las posibles diferencias cinemáticas entre futbolistas de ambos sexos, especialmente durante la ejecución de tareas funcionales (TF) con cambios de dirección. La hipótesis de este estudio planteó que los rangos de movimiento de la rodilla durante las maniobras con cambios de dirección son mayores en mujeres, en comparación a los hombres. Para contrastar esta

hipótesis, el objetivo de la investigación fue comparar la cinemática tridimensional de la rodilla entre hombres y mujeres futbolistas jóvenes universitarios amateur durante la ejecución de tres TF con cambios bruscos de dirección, asociadas a la práctica del fútbol. Los datos obtenidos en este estudio podrían aportar al conocimiento de la biomecánica de la rodilla y sus diferencias asociadas al sexo y, a la vez, los hallazgos podrían contribuir al diseño de programas de prevención de lesiones del LCA.

Métodos

Este estudio fue desarrollado en un ambiente de laboratorio, en el marco de la tesis de grado de las autoras KA y VI, bajo la tutoría de RGV, y co-tutoría de FP y OV.

Participantes. En este estudio se evaluaron 12 mujeres (edad: $21,5 \pm 1,3$ años; IMC: $21,7 \pm 1,4$ Kg/m²; estatura: $164,5 \pm 1,4$ cm; masa: $58,6 \pm 2,7$ Kg.) y 12 hombres (edad: $21,5 \pm 1,4$ años; IMC: $24,3 \pm 0,9$ Kg/m²; estatura: $173 \pm 2,8$ cm; masa: $72,3 \pm 0,4$ Kg.), todos ellos futbolistas universitarios amateur. En el proceso de reclutamiento se aplicaron los siguientes criterios de exclusión: i) lesiones musculoesqueléticas de extremidad inferior en los últimos 6 meses, ii) antecedentes de cirugía de extremidad inferior y/o columna, iii) dolor músculo-esquelético de extremidad inferior y/o tronco, iv) puntaje de hiperlaxitud > 3 en la escala de Beighton⁸. El grupo de mujeres se reclutó en ligas universitaria de fútbol femenino, mientras que la muestra de varones fue la misma utilizada en un estudio previo, considerando la misma metodología de evaluación⁹. Todos los voluntarios dieron su consentimiento para participar de manera voluntaria en el estudio, firmando un documento de consentimiento informado. Todos los procedimientos realizados en este estudio estuvieron en acuerdo con la declaración de Helsinki, y fueron aprobados por el Comité Ético Científico de la Universidad de los Andes (Folio de acta de aprobación: EK3001).

Procedimientos. En el grupo de mujeres se aplicó una encuesta para determinar la fase actual del ciclo menstrual y la regularidad de este en los últimos tres meses. Las voluntarias que se encontraron en la fase preovulatoria fueron citadas en una nueva oportunidad para ser evaluadas en la post-

ovulatoria. Junto con ello se recopilaban medidas antropométricas y se aplicó la escala de Beighton para determinar el grado de laxitud ligamentosa⁸. Luego de ello, se definió la pierna dominante con una prueba de descenso desde un cajón¹⁰. La cinemática tridimensional de la rodilla fue evaluada durante la ejecución de las siguientes TF: i.- Cambio de dirección en 180° (CD180°), consistió en una carrera en línea recta, que al momento de llegar a una plataforma de fuerza se realizó un giro en 180°, para luego regresar al punto de partida (Figura. 1A). ii.- Finta en 90° (F90°): consistió en una carrera en línea recta que, al momento de llegar a una plataforma de fuerza, se realizó una finta (side step) en 90°, siguiendo una marca sobre el piso (Figura. 1B). iii.- Golpe de Balón (GB), consistió en una carrera en línea recta, que al momento de llegar a una plataforma de fuerza se golpeó un balón (Figura. 1C).

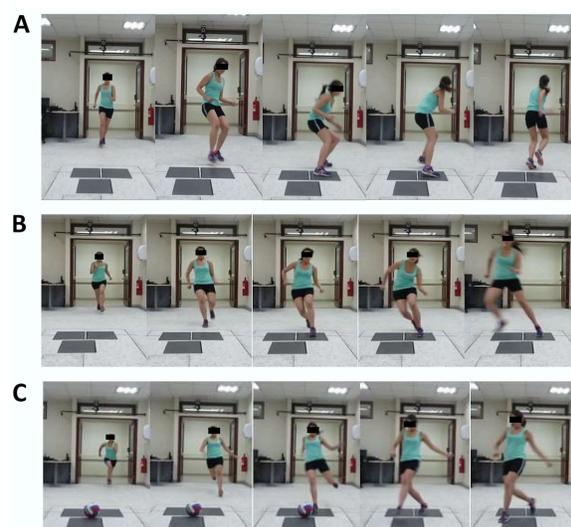


Figura 1. Tareas funcionales asociadas a la práctica del fútbol. A: carrera con cambio de dirección en 180° (CD 180°). B: Finta en 90° (F 90°). C: Golpe de balón (GB).

Instrucción de las tareas funcionales: Uno de los investigadores instruyó de manera verbal a cada voluntaria sobre la realización de cada prueba, explicación que fue reforzada mediante un video demostrativo. Posteriormente los voluntarios realizaron una serie de repeticiones de cada prueba, con la finalidad de que estos se familiarizaran con las tareas. Se ejecutaron tantas repeticiones como fueron necesarias con el objetivo de obtener tres pruebas válidas para cada extremidad. Se consideraron como pruebas válidas, aquellas en las

que se realizó un contacto inicial único con una de las extremidades sobre la plataforma de fuerza, y a la vez, se respetó la orientación del cambio de dirección. Se asignó un periodo de descanso de cinco minutos entre cada prueba. El orden en el cual se realizaron las diferentes TF fue asignado de manera aleatoria, al igual que la dirección (derecha o izquierda) de los cambios de dirección. Esta última fue indicada a los voluntarios durante la carrera. Para ello, se utilizó un sistema de flechas luminosas orientadas hacia la derecha o izquierda, las cuales se encendían una vez que el voluntario atravesaba un láser, ubicado a 2,75 metros de la plataforma de fuerza, y se activaba aproximadamente 500 ms antes del contacto del pie con la plataforma (Figura 2). De esta forma, el voluntario era súbitamente informado del sentido en el cual debía realizar el cambio de dirección. Este mismo protocolo fue utilizado en un estudio previo⁹.

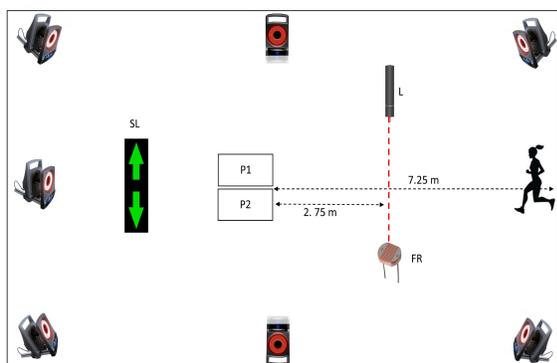


Figura 2. Montaje de evaluación. SL: sistema luminoso que indicaba con anticipación de 500ms, cual era la dirección (derecha o izquierda), con la cual el voluntario debió realizar el cambio de dirección o finta. L y FR, corresponden a un sistema de láser y foto celda, los cuales fueron utilizados para activar el sistema luminoso. P1 y P2 son plataformas de fuerzas, sobre las cuales el voluntario realizó los cambios de dirección. Para registrar la cinemática 3D de la rodilla se utilizaron ocho cámaras (serie-T Vicon).

Instrumentos. La cinemática tridimensional de la rodilla fue registrada mediante un sistema de análisis de movimiento tridimensional (T-Serie. Vicon System. USA), mediante el registro de la posición y desplazamiento de 16 marcadores reflectantes. Estos marcadores fueron ubicados en las extremidades inferiores y pelvis, de acuerdo al modelo biomecánico Plug in-gait¹¹. La posición de los marcadores fue registrada por ocho cámaras infrarrojas (T-Series[®]. Vicon Corp. USA), cuya frecuencia de muestreo fue de 200Hz. La posición

de los marcadores y las medidas antropométricas de los participantes fueron integradas en un software de análisis biomecánico (Nexus[®]. Vicon Corp. USA), mediante el cual se obtuvieron los rangos de movimiento de la rodilla en los planos frontal (varovalgo) y transversal (rotaciones interna-externa). También se usaron dos plataformas de fuerza (FP-4000[®]. Bertec Corp. USA) cuyos datos fueron registrados a una frecuencia de 2000Hz, y que registraron la fuerza de reacción del piso al momento de realizar la TF. La interrupción del láser fue registrada mediante un fotosensor (Kineticnic, Santiago, Chile), cuyo registro fue realizado de manera simultánea a las cámaras y a la plataforma de fuerza, con una frecuencia de muestreo de 2000Hz.

Procesamiento de datos cinemáticos. El procesamiento de datos fue llevado a cabo mediante un software de análisis biomecánico (Polygon. Vicon Corp. USA), con el cual se obtuvieron los rangos de movimiento de la rodilla en los tres planos. Para cada TF, se analizó la cinemática de la rodilla de la pierna pivoteante, considerándose esta como la extremidad que permaneció en contacto con la plataforma al momento de ejecutar cada prueba. Se analizaron seis pruebas válidas para cada TF; tres para la pierna izquierda y 3 para la derecha. Los rangos de movimiento fueron calculados dentro de una ventana de análisis, la cual comenzó con el contacto inicial del pie con la plataforma y finalizó con el despegue completo del mismo desde dicha superficie. Para minimizar el sesgo producido por las diferentes velocidades de ejecución de las tareas, los datos fueron ajustados a la velocidad con la que los voluntarios llegaron a contactar inicialmente la plataforma de fuerza.

Análisis estadístico. El tamaño de la muestra fue calculado (GPower 3.1.7. Universität Kiel, Alemania) en base a los promedios y desviación estándar de valgo de rodilla en hombres y mujeres que ejecutaron TF con cambios de dirección, reportados por McLean et al⁶. Se obtuvo un tamaño de muestra mínimo de 12 voluntarios, divididos en dos grupos de seis, sin embargo, se decidió aumentar el tamaño de muestra a 12 voluntarios por grupo. En una primera instancia, se realizó una estadística descriptiva, la cual incluyó una prueba de Shapiro- Wilk. Para comparar los rangos de movimiento entre hombres y mujeres, se aplicó una

prueba de Mann-Whitney. Para determinar las diferencias cinemáticas al interior de cada grupo, se aplicó una prueba de ANOVA o de Friedman, dependiendo si la distribución de los datos cumplía o no el supuesto de normalidad. Por otro lado, para comparar las diferencias en el grado de laxitud ligamentosa entre ambos grupos, se aplicó una prueba de Mann-Whitney. Se utilizó un nivel de significación estadística de un 95% y todos los análisis fueron realizados a una cola. Las diferencias estadísticas fueron consideradas frente a un valor $p < 0,05$, utilizando el software GraphPad Prism (v.9.0.0, San Diego, California USA). La potencia (1- β) fue calculada para las diferencias estadísticas encontradas (GPower 3.1.7. Universität Kiel, Alemania).

Resultados

Los rangos de movimiento en los tres planos no mostraron distribuciones normales, por ello, se usaron medianas y rangos intercuartílicos para su descripción (Tabla 1). No se observó diferencia en el plano transversal entre hombres y mujeres durante la tarea de GB y F90° ($p=0,160$ y $p=0,080$ respectivamente). Mientras que en la tarea de CD180°, el rango de rotación de las mujeres fue mayor que en los hombres ($p=0,030$, $1-\beta=0,650$). En las tareas de GB y CD180° no se encontraron diferencias en el plano frontal entre ambos grupos ($p=0,270$). Sin embargo, en la prueba de F90° las mujeres mostraron un mayor rango de varo-valgo que los hombres ($p=0,040$, $1-\beta=0,550$). En la comparación de los rangos al interior de cada grupo, la prueba de F90° en hombres presentó un mayor rango de rotación que las tareas de GB y CD180° ($p=0,010$ y $p=0,007$ respectivamente), en cambio, no se registró diferencia para este mismo plano entre GB y CD180° (Figura 3). En el grupo de mujeres las pruebas de CD180° y F90° tuvieron un mayor rango de rotación que GB ($p=0,010$ y $p=0,040$ respectivamente), mientras que no se registró diferencia entre CD180° y F90° en este mismo plano (Figura 3). En ambos grupos no se observaron diferencias en los rangos de varo-valgo entre todas las pruebas (Figura 4). Al comparar los puntajes de la escala de Beighton entre hombres y mujeres, se observó que dicho puntaje fue mayor en estas últimas ($p=0,002$).

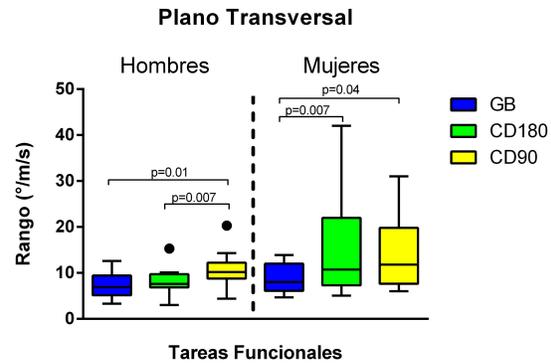


Figura 3. Medianas y rangos intercuartílicos de los movimientos de rodillas en el plano trasversal (rotación) de hombre (n=12) y mujeres (n=12) durante la ejecución de tres tareas funcionales asociadas a la práctica del fútbol: carrera con cambio de dirección en 180° (CD 180°); Finta en 90° (F 90°) y Golpe de balón (GB). Las comparaciones intragrupo fueron realizadas con un test de ANOVA de una vía, o bien, un test de Friedman.

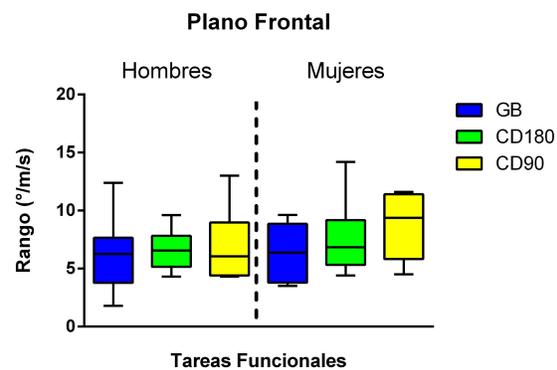


Figura 4. Medianas y rangos intercuartílicos de los movimientos de rodillas en el plano frontal (varo-valgo) de hombre (n=12) y mujeres (n=12) durante la ejecución de tres tareas funcionales asociadas a la práctica del fútbol: Carrera con cambio de dirección en 180° (CD 180°); Finta en 90° (F 90°) y Golpe de balón (GB). Las comparaciones intragrupo fueron realizadas con un test de ANOVA de una vía, o bien, un test de Friedman.

Tabla 1: Medianas e intervalos intercuartílicos (entre paréntesis) de los rangos articulares de la rodilla ajustados a la velocidad de ejecución de las tareas funcionales en el plano transversal y frontal, en mujeres (n=12) y hombres(n=12)

Plano	Transversal (°/m/s)			Frontal (°/m/s)		
	Masculino	Femenino	Valor-p	Masculino	Femenino	Valor-p
GB	6,9 (5,2-9,5)	8,03 (6,1-12)	0,16	6,25 (3,8-7,7)	6,38 (3,8-8,9)	0,27
CD180°	7,6* (6,9-9,7)	10,75* (7,3-21,9)	0,03*	6,55 (5,2-7,8)	6,85 (5,3-9,2)	0,27
F90°	10,2 (8,8-12,2)	11,8 (7,7-19,8)	0,08	6,05* (4,4-8,9)	9,37* (5,8-11,4)	0,04*

GB: Golpe de Balón; CD180°: carrera con cambio de dirección en 180°; F90°: finta en 90°.
*Prueba de Mann-Whitney

Discusión

El objetivo de este estudio fue comparar la cinemática de la articulación de la rodilla entre hombres y mujeres futbolistas amateur, durante la ejecución de tres tareas funcionales asociadas a la práctica del fútbol. Los resultados indicaron que las mujeres presentan mayores rangos de movimiento que los hombres en los planos frontal y transversal. En este sentido, durante la prueba de CD180°, las mujeres registraron mayores rangos de rotación. Esto es consistente con los resultados reportados por Nagano et al¹², quienes analizaron en hombres y mujeres deportistas, los movimientos del tronco y rodilla durante cambios bruscos de dirección, registrando en mujeres mayores rangos de flexo-extensión y rotación interna de rodilla. Del mismo modo, nuestros resultados indicaron que en la tarea F90° las mujeres mostraron un mayor rango de valgo, coincidiendo con lo reportados por McLean et al⁶. Estos autores analizaron las diferencias asociadas al sexo en dos de las tres pruebas evaluadas en el presente estudio. Una posible explicación de las diferencias registradas entre hombres y mujeres podrían atribuirse a diferentes niveles de fuerza en los músculos isquiotibiales. Weinhandl et al¹³ en una muestra de mujeres, demostró que frente a una reducción de la fuerza del bíceps femoral, el rango de valgo aumentó un 24% durante la prueba de F90°¹³⁻¹⁵². También se han reportado algunas diferencias en las estrategias neuromusculares entre hombres y mujeres^{15,16}. Diversos estudios apuntan a la importancia de la función protectora de esta musculatura sobre la estabilidad articular^{15,16}. Se ha descrito que mujeres presentan un mayor retraso en la activación de los isquiotibiales¹³ y una menor activación del cuádriceps. Estos factores podrían influir sobre la cinemática articular^{13,14,16} y ser causa de los mayores rangos de movimiento, y con ello, aumentar la predisposición a lesiones del LCA. Otros factores relacionados a estas diferencias podrían ser variables morfológicas. El ángulo Q es generalmente mayor en mujeres, lo cual podría ser causa de mayores rangos de valgo dinámico en este grupo¹⁶⁻¹⁸. Sin embargo, la magnitud de este ángulo no ha demostrado ser un predictor directo de riesgo de lesión del LCA, aunque, es desconocido el efecto del ángulo Q sobre la cinemática de la articulación de rodilla. Por esta razón, en este estudio no se valoró dicha variable., sin embargo, futuras investigaciones podrían replicar la metodología del presente estudio considerando la categorización del ángulo Q. Una potencial causa de las diferencias

entre los sexos también podrían ser atribuida a componentes hormonales. Diversos estudios han concluido que en mujeres existen mayores niveles de estrógeno en la sangre durante la fase preovulatoria. Esto tendría un efecto sobre la laxitud ligamentosa, generando cambios en la propiocepción de la articulación, pudiendo con ello, producir variaciones cinemáticas que incrementen el riesgo de lesiones^{19,20}. Por este motivo, esta variable fue controlada, evaluando mujeres que no estuvieran en la fase preovulatoria. Por otro lado, el grupo de mujeres resultó tener un mayor puntaje en la escala de Beighton ($p=0,002$) en comparación a los hombres. Por ello, la causa más probable de las diferencias cinemáticas observadas en el presente estudio podría ser atribuida a la mayor laxitud ligamentosa registrada en mujeres. Al analizar los resultados por plano, se observó que tanto en mujeres como en hombres la F90° presentó un mayor rango de rotación. Mientras que, en el grupo de mujeres, a diferencia de los hombres, la tarea de CD180° también registró mayores rangos en el plano transversal. Con respecto a la tarea de F90°, la literatura revela que esta tarea funcional tiene mayores exigencias de valgo que de rotación⁷, contradiciéndose con los resultados descritos en nuestro estudio. Estas diferencias pueden ser atribuidas a las distintas disciplinas deportivas evaluadas: McLean et al⁷ evaluaron basquetbolistas, mientras que nosotros futbolistas. También podrían haber influenciado diferencias metodológicas, tales como el ajuste de los valores cinemáticos a la velocidad de ejecución de la prueba, lo cual fue aplicado en el presente estudio y no en los precedentes. Dicho ajuste fue aplicado, dado que la velocidad de ejecución influye la magnitud del rango articulares. Se optó por ajustar la velocidad en vez de controlar esta, por la razón que controlar la velocidad de ejecución podría afectar de manera importante la naturalidad de la ejecución, introduciendo así una fuente importante de sesgo. En cuanto a la TF de CD180°, esta es una de las pruebas con mayor exigencia independiente del sexo, ya que según Nagano et. al. esta tarea requiere giros, pausas y aceleración, necesitando un mayor control articular¹². Sin embargo, las diferencias registradas en este estudio podrían estar asociadas a los factores mencionados anteriormente. La tarea de GB no demostró diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los dos grupos, esto se puede deber a que no exige un rango de cambio de dirección tan pronunciado en la articulación de la rodilla a diferencia de las otras dos TF. Limitaciones

del estudio Existen algunas limitaciones en este estudio. En primer lugar, la naturaleza de la muestra, ya que no tiene una base poblacional amplia para que los datos sean extrapolados, traduciéndose en una baja validez externa. En segundo lugar, la identificación objetiva de los niveles hormonales de las participantes al momento de realizar las evaluaciones, por lo que proponemos que en futuras investigaciones se utilicen métodos más objetivos, por medio de exámenes para cuantificar los niveles de estrógeno en la sangre²¹. Por último, en el presente estudio no se midió el nivel de activación de los isquiotibiales durante las tareas funcionales, lo que entregaría información relevantes en relación a la función protectora de rodilla de este grupo muscular. Se propone que estudios posteriores tomen en cuenta la evaluación de este parámetro por medio de electromiografía de superficie.

Conclusión

Las mujeres de la muestra evaluada presentaron mayores rangos de rotación y valgo en las TF con cambios de dirección, lo cual podría ser un factor biomecánico asociado a la mayor prevalencia de lesiones del LCA registrada en mujeres futbolistas. Junto con ello, se evidenció que el gesto deportivo que más exige los movimientos de rotación de rodilla, tanto en hombres como en mujeres, es la F90°, y en el caso de este último grupo, también se agrega el CD180°.

Financiamiento

No se contó con fuentes de financiamiento externo.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés

Detalles de los autores

¹ Laboratorio integrativo de Biomecánica y Fisiología del Esfuerzo. Escuela de Kinesiología. Facultad de Medicina. Universidad de los Andes. Santiago. Chile.

Correspondencia a:

Rodrigo Guzmán-Venegas

Avenida Monseñor Álvaro del Portillo 12.455, Las Condes, Santiago, RM, Chile

rguzman@uandes.cl

Recibido: Diciembre 2020

Publicado: Junio 2021

Referencias

1. Cochrane JL, Lloyd DG, Buttfield A, Seward H, McGivern J. Characteristics of anterior cruciate ligament injuries in Australian football. *J Sci Med Sport*. 2007;10(2):96-104.
2. Laughlin WA, Weinhandl JT, Kernozek TW, Cobb SC, Keenan KG, O'Connor KM. The effects of single-leg landing technique on ACL loading. *J Biomech*. 2011;44(10):1845-51.
3. Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, Beynon B, Fukubayashi T, Garrett W, et al. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med*. 2008;42(6):394-412.
4. Arendt E, Dick R. Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med*. 1995;23(6):694-701.
5. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg*. 2000;8(3):141-50.
6. McLean SG, Walker KB, van den Bogert AJ. Effect of gender on lower extremity kinematics during rapid direction changes: an integrated analysis of three sports movements. *J Sci Med Sport*. 2005;8(4):411-22.
7. Dempsey AR, Lloyd DG, Elliott BC, Steele JR, Munro BJ, Russo KA. The effect of technique change on knee loads during sidestep cutting. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(10):1765-73.
8. Beighton P, Solomon L, Soskolne CL. Articular mobility in an African population. *Ann Rheum Dis*. 1973;32(5):413-8.
9. Guzmán R, Cohens M, Hidalgo R, Rosales C, Valencia O, Matas J, et al. Cinemática fisiológica de rodilla en futbolistas amateur: Análisis 3D. *Revista Chilena de Ortopedia y Traumatología*. 2015;56(2):2-6.
10. Sadeghi H, Allard P, Prince F, Labelle H. Symmetry and limb dominance in able-bodied gait: a review. *Gait Posture*. 2000;12(1):34-45.
11. Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *J Orthop Res*. 1990;8(3):383-92.
12. Nagano Y, Ida H, Akai M, Fukubayashi T. Relationship between three-dimensional kinematics of knee and trunk motion during shuttle run cutting. *J Sports Sci*. 2011;29(14):1525-34.
13. Weinhandl JT, Earl-Boehm JE, Ebersole KT, Huddleston WE, Armstrong BS, O'Connor KM. Reduced hamstring strength increases anterior cruciate ligament loading during anticipated sidestep cutting. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2014;29(7):752-9.
14. Samaan MA, Hoch MC, Ringleb SI, Bawab S, Weinhandl JT. Isolated hamstrings fatigue alters hip and knee joint coordination during a cutting maneuver. *J Appl Biomech*. 2015;31(2):102-10.
15. Iguchi J, Tateuchi H, Taniguchi M, Ichihashi N. The effect of sex and fatigue on lower limb kinematics, kinetics, and muscle activity during unanticipated side-step cutting. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(1):41-8.
16. Sutton KM, Bullock JM. Anterior cruciate ligament rupture: differences between males and females. *J Am Acad Orthop Surg*. 2013;21(1):41-50.

17. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. *Am J Sports Med.* 2006;34(2):299-311.
18. Ireland ML. Anterior cruciate ligament injury in female athletes: epidemiology. *J Athl Train.* 1999;34(2):150-4.
19. Lee H, Petrofsky JS, Daher N, Berk L, Laymon M, Khowailed IA. Anterior cruciate ligament elasticity and force for flexion during the menstrual cycle. *Med Sci Monit.* 2013;19:1080-8.
20. Hewett TE, Zazulak BT, Myer GD. Effects of the menstrual cycle on anterior cruciate ligament injury risk: a systematic review. *Am J Sports Med.* 2007;35(4):659-68.
21. Tourville TW, Shultz SJ, Vacek PM, Knudsen EJ, Bernstein IM, Tourville KJ, et al. Evaluation of an Algorithm to Predict Menstrual-Cycle Phase at the Time of Injury. *J Athl Train.* 2016;51(1):47-56.