

ORIGINAL

Evaluación funcional de los pacientes con rotura del ligamento cruzado anterior. Estudio analítico transversal



E. Sánchez-Alepuz^{a,b}, I. Miranda^{c,*} y F.J. Miranda^d

^a Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología de Unión de Mutuas, Valencia, España

^b Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Hospital IMED Valencia, Burjassot, Valencia, España

^c Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Hospital Universitario y Politécnico La Fe, Valencia, España

^d Departamento de Fisiología, Universitat de València, Valencia, España

Recibido el 24 de septiembre de 2018; aceptado el 6 de octubre de 2019

Disponible en Internet el 25 de noviembre de 2019

PALABRAS CLAVE

Ligamento cruzado anterior;
Evaluación funcional;
Cinética de la marcha;
Cinemática de la marcha;
Rodilla

Resumen

Objetivo: Evaluar, mediante un análisis biomecánico, la alteración funcional de la marcha y del equilibrio de pacientes con rotura del ligamento cruzado anterior (LCA).

Material y método: Estudio analítico transversal en 64 sujetos, 27 sujetos sanos y 37 pacientes con lesión de LCA. A todos los sujetos se les realizó un análisis biomecánico de la marcha mediante 4 pruebas: 1) prueba cinemática de la marcha, para caracterizar el patrón de marcha; 2) prueba de análisis cinético de la marcha, para analizar las características de las fuerzas ejercidas contra el suelo, la duración de las pisadas, la simetría entre ambas extremidades y la repetitividad del gesto analizado; 3) prueba de la marcha con pivót, para valorar la estabilidad rotacional de la rodilla alrededor del eje sagital; y 4) prueba de equilibrio.

Resultados: Se han encontrado alteraciones en el análisis cinemático y cinético tanto en la rodilla lesionada como en la sana respecto al grupo control. En la prueba de la marcha con pivót hay una tendencia al aumento de las fuerzas en los 3 ejes, tanto en la pierna de apoyo como en la pierna de salida en los pacientes con rotura de LCA, en comparación con los sujetos sanos.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: nachomigo@hotmail.com (I. Miranda).

KEYWORDS

Anterior cruciate ligament;
Functional evaluation;
Gait kinetics;
Gait kinematics;
Knee

Conclusión: La rotura del LCA produjo alteración del patrón de marcha, alteración de las fuerzas ejercidas contra el suelo, de la duración de las pisadas, de la simetría entre ambas extremidades y de la repetitividad del gesto durante la marcha y alteración de la estabilidad rotacional de la rodilla en el eje sagital.

© 2019 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Functional evaluation of patients with anterior cruciate ligament injury. A transversal analytical study

Abstract

Objective: To evaluate, by means of biomechanical analysis, functional alterations of gait and balance of patients with anterior cruciate ligament (ACL) injury.

Material and methods: Transversal analytical study on 64 people, 27 health subjects and 37 patients with ACL injury. Biomechanical analysis of gait in all individuals was performed by means of four tests: 1) kinematic test, to characterize gait pattern; 2) kinetic test, to characterize forces against the floor, duration of treads, symmetry of both legs, and the reproducibility of the gait; 3) pivot-shift test, to analyze the rotational stability of the knee on the sagittal axis; and 4) equilibrium test.

Results: alterations in kinematic and kinetic analysis were found in both the injured knee and the healthy knee compared to the control group. In the pivot-shift gait test there is a tendency to increase the forces on the three axes, both in the support leg and in the exit leg in patients with ACL injury, in comparison with healthy subjects.

Conclusion: ACL injury-induced changes in gait pattern, changes in forces against the floor, duration of treads, symmetry of both legs, and the reproducibility of gait and changes in rotational stability of the knee on the sagittal axis.

© 2019 SECOT. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) es una lesión muy frecuente, que además afecta a un rango de población joven y con un nivel de actividad física elevado¹. Se calcula una incidencia de 0,4-0,8 lesiones por 1.000 habitantes y año (entre 10 y 64 años de edad)²⁻⁴. La rotura del LCA está relacionada con actividades deportivas como fútbol, balonmano, esquí o baloncesto en un 65-75% de los casos^{1,2,4-6}, aunque aproximadamente un 25-35% de los casos se producen en el domicilio, la vía pública, los centros comerciales o el lugar de trabajo⁴. La edad media de los pacientes con una rotura de LCA es de 28-35 años, con una mayor proporción de hombres (58-73%)^{2,4,5,7}; sin embargo, si examinamos a poblaciones de riesgo (fútbol, baloncesto y otros deportes de contacto), la incidencia es mayor en mujeres que en hombres^{3,8}. La explicación de por qué hay más LCA rotos en hombres que en mujeres sería porque el número de hombres que realiza actividades de riesgo para la rotura del LCA es muy superior al de mujeres que realizan este tipo de actividades^{4,9}.

Se calcula que aproximadamente, en un 70% de los casos, la lesión del LCA se produce por un mecanismo indirecto, que suele incluir un frenado brusco combinado con un cambio de dirección, pivotaje o apoyo de la rodilla casi en extensión completa tras un salto^{1,8,10,11}. Las lesiones por contacto directo implican generalmente una fuerza de

traslación sobre la parte anterior de la pierna, que se encuentra fija al suelo^{1,8}.

Se ha descrito que la lesión del LCA se presenta aislada en un 10-30% de los casos^{1,2}, en el 40-45% de los casos está asociada con alguna lesión meniscal y aproximadamente el 30-35% está asociada con otra lesión ligamentosa^{2,7}.

La reconstrucción anatómica del LCA ha sido objeto de interés, ya que su función está directamente relacionada con su anatomía^{12,13}, y esta a su vez está directamente relacionada con la función de la rodilla y, en consecuencia, con el patrón de la marcha¹⁴. Actualmente, la reparación artroscópica es de elección frente a la cirugía abierta, pero sigue existiendo una gran controversia sobre cuál es el mejor procedimiento para la reparación, que se focaliza en el número de fascículos (monofascículo, doble fascículo o incluso triple fascículo); la elección del injerto (aloinjerto o autoinjerto, tendones de la pata de ganso, tendón rotuliano o tendón cuadriceps); el sistema de fijación a utilizar y el número y la posición de los túneles tibiales y femorales, existiendo numerosas conformaciones y variables descritas¹⁵⁻¹⁹. Saber cómo afecta la lesión del LCA a la función de la rodilla puede ser el punto de partida para el estudio de la mejor forma de reconstruir el LCA y restaurar la función de la articulación.

El objetivo del presente trabajo ha sido evaluar las alteraciones funcionales que se producen en los pacientes con rotura del LCA mediante un análisis biomecánico de la marcha y del equilibrio.

Métodos

Para la realización de este trabajo se han estudiado 64 sujetos, 27 sujetos sanos y 37 pacientes con lesión del LCA, de los que 7 fueron excluidos del estudio tras la intervención quirúrgica por diferentes motivos. Todos los pacientes fueron tratados en una mutua laboral, y por tanto sus lesiones son a consecuencia de un accidente de trabajo. Se ha realizado un estudio clínico transversal, comparando la funcionalidad de la rodilla de los sujetos sanos —27 sujetos— (grupo control) con la de los sujetos con rotura completa del LCA previa a la cirugía —30 pacientes— (grupo patológico). La recogida de datos se realizó prospectivamente, incluyendo a los pacientes con rotura de LCA de forma consecutiva, descartando solo aquellos que no cumplían los criterios de inclusión. El estudio fue aprobado por el comité de ética de nuestro centro y todos los individuos firmaron el correspondiente consentimiento informado para la inclusión en el estudio y para la posterior realización de la intervención.

Se utilizaron los siguientes criterios de inclusión/exclusión:

- Criterios de inclusión para individuos sanos: 1) varón adulto menor de 40 años y mayor de 16 años; y 2) sin enfermedad previa ni actual a nivel de los miembros inferiores.
- Criterios de inclusión para individuos patológicos: 1) varón adulto menor de 40 años y mayor de 16 años; 2) sin enfermedad previa a nivel de los miembros inferiores; 3) sospecha clínica de rotura del LCA (anamnesis y exploración física, que incluye pruebas de Lanchman y cajón anterior positivas); y 4) sospecha por RM de rotura completa del LCA.
- Criterios de exclusión para individuos patológicos: 1) rotura meniscal que requiera sutura; 2) ausencia de confirmación quirúrgica de la rotura de LCA, bien porque no exista, bien porque la rotura sea parcial; y 3) aparición de alguna otra afección que pueda alterar la valoración funcional de la rodilla.

Se recogieron datos de los pacientes relativos a la edad, la talla y el peso corporal.

Para la valoración funcional de la rodilla los sujetos realizaron 4 pruebas, basadas en medidas 3D de los movimientos relativos entre el fémur y la tibia y en el análisis de las fuerzas de reacción con el suelo registradas por medio de plataforma dinamométrica: 1) prueba cinemática de la marcha; 2) prueba de análisis cinético de la marcha; 3) prueba de la marcha con pivot; y 4) prueba de equilibrio. Para la realización de estas pruebas se ha utilizado el aparataje y el software del Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV).

La prueba cinemática de la marcha combina la información cinética obtenida de las plataformas de fuerzas y la información cinemática aportada por el sistema de fotogrametría para caracterizar el patrón de marcha de los sujetos participantes en el estudio. Para ello, se usa el software Kinescan/IBV sincronizado con una plataforma de fuerzas Dinascan/IBV. En esta prueba se miden las fuerzas internas y los momentos articulares de la extremidad inferior (rodilla y tobillo). Variables: rango de movilidad medio de la

rodilla; rango de movilidad máximo que alcanza la rodilla; velocidad angular máxima que alcanza la rodilla; velocidad angular media de la rodilla; aceleración angular máxima de la rodilla; aceleración angular media de la rodilla; rango de movilidad medio del tobillo; rango de movilidad máximo que alcanza el tobillo; velocidad angular máxima que alcanza el tobillo; velocidad angular media del tobillo; aceleración angular máxima del tobillo; aceleración angular media del tobillo; momento de rodilla normalizado para los percentiles 5, 50 y 95; momento de tobillo, normalizado para los percentiles 5, 50 y 95. Las velocidades y aceleraciones angulares y los momentos de la rodilla y tobillo están relativizados al peso corporal.

La prueba de análisis cinético de la marcha se realiza en un pasillo de marcha instrumentada mediante una plataforma dinamométrica de tipo extensométrico DINASCAN-IBV, que registra la fuerza ejercida contra el suelo por un sujeto al caminar sobre ella. Utilizando el programa informático NedAMH/IBV es posible obtener información concerniente a las características de dicha fuerza, duración de las pisadas, simetría entre ambas extremidades y repetitividad del gesto analizado. Variables: velocidad; tiempo de apoyo; fuerza de frenado; fuerza de propulsión; fuerza de despegue; fuerza de oscilación; morfología Fx (componente antero-posterior); morfología Fy (componente medio-lateral); morfología Fz (componente vertical). Las fuerzas se expresan en porcentaje del peso corporal. Las morfologías se expresan en porcentaje respecto del patrón de normalidad (considerando 100 el patrón de normalidad). Por último, se obtiene una valoración global de la marcha, que también se expresa porcentualmente respecto del patrón de normalidad.

La prueba de la marcha con pivot se compone de 2 fases, consistentes en una prueba de marcha a la que se ha añadido un cambio de dirección de 90 grados, pisando la plataforma de fuerzas respecto a la trayectoria inicial. La combinación de ambas fases conforma una rotación del cuerpo sobre la pierna de apoyo, mientras permanece inmóvil, en este momento se le aplica una rotación prácticamente pura a partir del peso corporal. En esta prueba se obtienen valores de fuerza (f) y derivada de la fuerza (df) en los ejes anteroposterior (x), mediolateral (y) y vertical (z), con los percentiles 5, 50 y 95, tanto en la pierna de apoyo como en la pierna de salida (pis2.). Los valores de la fuerza se expresan en Newtons (N) y se relativizan al peso corporal; en el eje anteroposterior los valores positivos se refieren hacia delante y los negativos hacia atrás; en el eje mediolateral los valores positivos al lateral y los negativos al medial, y en el eje vertical los valores positivos se refieren al sentido hacia arriba y los negativos hacia abajo.

La prueba de equilibrio se realiza con ayuda del posturógrafo NedSVE/IBV, que consiste en un sistema de valoración funcional de afecciones del equilibrio humano basado en plataformas dinamométricas. Esta aplicación combina pruebas de valoración de posturografía estática con pruebas dinámicas, proporcionando un índice global sobre la valoración del equilibrio del paciente^{20,21}. El protocolo de la prueba consiste en la realización de 2 test: la evaluación sensorial dinámica, basada en el test de Romberg, y la valoración del control y habilidad.

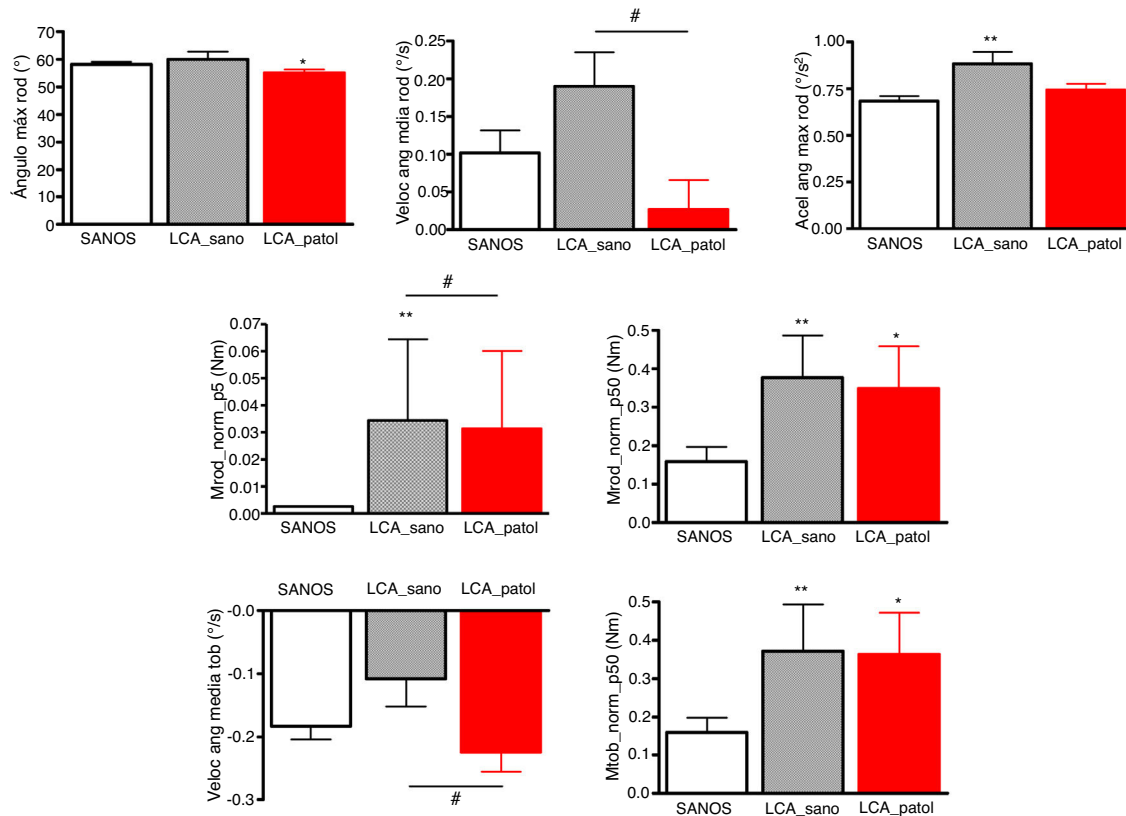


Figura 1 Prueba cinemática de la marcha. Ángulo máximo de rodilla, velocidad angular media de rodilla, aceleración angular máxima de rodilla, momentos de rodilla normalizados percentiles 5 y 50, velocidad angular media de tobillo y momento de tobillo normalizado percentil 50 en la prueba cinemática de la marcha en sujetos control (SANOS, $n = 50$) y en sujetos con rotura del LCA ($n = 30$), tanto en la pierna sana (LCA_sano) como en la pierna lesionada (LCA_patol). Los valores se expresan como media \pm EEM.

* $p < 0,05$.

** $p < 0,01$ Significativamente diferente respecto de sujetos control.

$p < 0,05$.

$p < 0,01$ significativamente diferente respecto de LCA_sana.

Las pruebas se realizaron en nuestro centro médico-quirúrgico, con el aparatage y material proporcionado por el IBV.

Análisis estadístico

La recogida de datos se realizó respetando la confidencialidad y el anonimato de los pacientes, y se incorporaron a una base de datos Microsoft Excel 2013. Una vez obtenidos los resultados para cada una de las pruebas, el tratamiento estadístico se llevó a cabo con el paquete estadístico SPSS 22. Para cada una de las variables se calculó la media y el error estándar de la media (EEM) de los sujetos pertenecientes a cada grupo. Se realizó una prueba de normalidad para variables cuantitativas (test de Shapiro-Wilk) y de homogeneidad de las varianzas (Levene). Las comparaciones entre las medias de las variables de cada uno de los grupos se realizaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA) de una vía con un test *post hoc* de comparaciones múltiples (paramétricos —Bonferroni—, o no paramétricos —Mann-Whitney o Kruskal Whalis—, en función de los resultados de las pruebas de normalidad y de homogeneidad de las varianzas).

Se consideraron diferencias estadísticamente significativas para valores de $p < 0,05$.

Resultados

En el presente estudio han participado 27 sujetos sanos y 30 sujetos con rotura del LCA. La edad (30 ± 1 años), el peso (82 ± 2) y la estatura (176 ± 1 cm) de los sujetos con rotura del LCA no fueron significativamente diferentes de los correspondientes valores de los sujetos del grupo control (31 ± 1 años, 79 ± 2 kg y 175 ± 1 cm).

Prueba cinemática de la marcha

La prueba cinemática de la marcha se ha realizado en sujetos sanos y en sujetos con rotura del LCA. En estos últimos se ha obtenido cada uno de los distintos parámetros tanto para la pierna sana como para la pierna lesionada.

En la pierna sana de los sujetos con rotura del LCA la aceleración angular máxima de la rodilla, el momento de rodilla normalizado percentiles 5 (Mrod_norm_p5) y 50 (Mrod_norm_p50) y el momento de tobillo normalizado

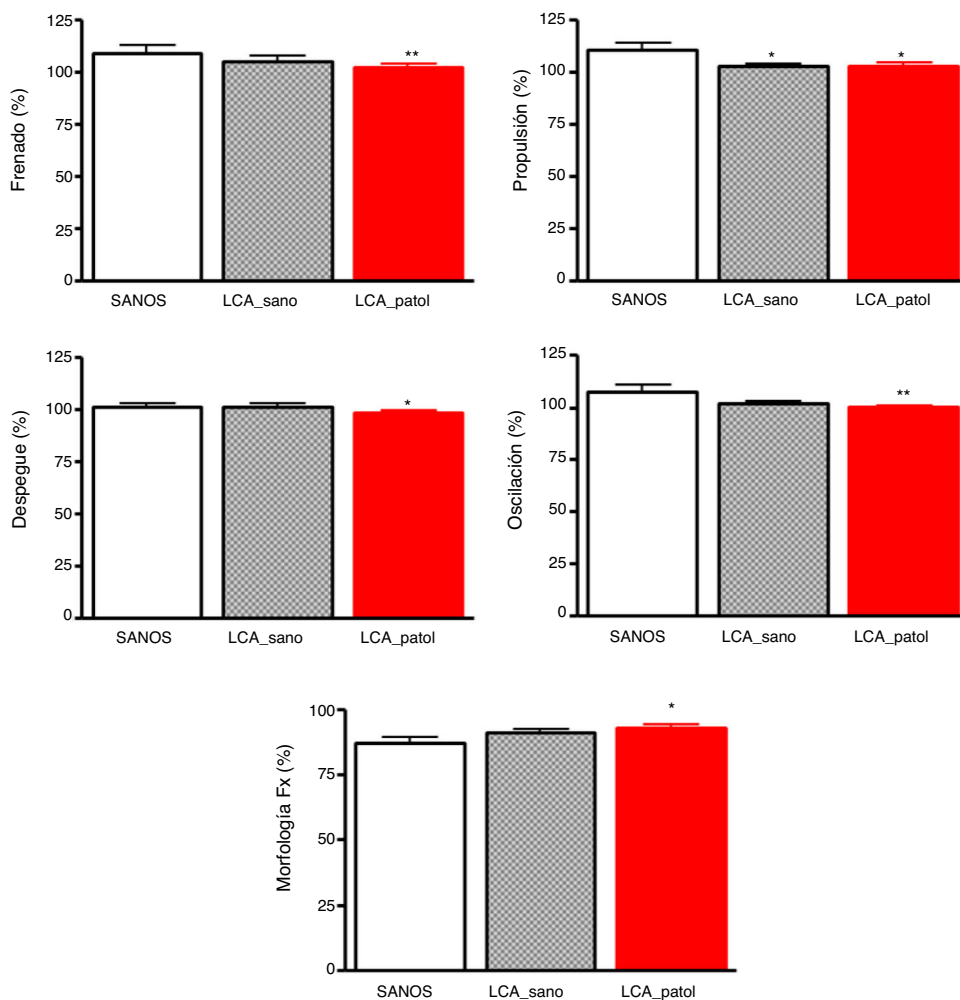


Figura 2 Prueba del análisis cinético de la marcha. Análisis cinético de la marcha en sujetos control (SANOS, $n = 24$) y en sujetos con rotura del LCA ($n = 30$), tanto en la pierna sana (LCA_sano) como en la pierna lesionada (LCA_patol). Los valores se expresan como media \pm EEM.

* $p < 0,05$.

** $p < 0,01$ significativamente diferente respecto de sujetos control.

percentil 50 (M_{tob_norm_p50}) fueron significativamente mayores que en sujetos sanos; en la pierna con rotura LCA el ángulo máximo de rodilla fue significativamente menor y el momento de rodilla y tobillo normalizados percentil 50 (M_{rod_norm_p50} y M_{tob_norm_p50}) fueron significativamente mayores que en sujetos sanos (fig. 1).

La velocidad angular media de rodilla, el momento de rodilla normalizado percentil 5 (M_{rod_norm_p5}) y la velocidad angular media de tobillo fueron significativamente menores en la pierna lesionada que en la pierna sana, sin presentar diferencias significativas en ninguno de los casos respecto del valor obtenido en sujetos sanos (fig. 1).

Prueba de análisis cinético de la marcha

La prueba de análisis cinético de la marcha se ha realizado en sujetos sanos y en sujetos con rotura del LCA. En la pierna sana de los sujetos con rotura del LCA, la fuerza de propulsión fue significativamente menor que en sujetos sanos; en la pierna con rotura del LCA las fuerzas de frenado, propulsión,

despegue y oscilación fueron significativamente menores y la morfología Fx fue significativamente mayor que en sujetos sanos (fig. 2).

Prueba de la marcha con pivot

La prueba de la marcha con pivot se ha realizado en sujetos sanos y en sujetos con rotura del LCA. En estos últimos se ha obtenido cada uno de los distintos parámetros tanto para la pierna sana como para la pierna lesionada. El presente estudio muestra que los sujetos con rotura del LCA presentaron una tendencia al aumento de las fuerzas en los 3 ejes, anteroposterior, mediolateral y vertical, tanto en la pierna de apoyo como en la pierna de salida, en comparación con los sujetos sanos.

En el eje anteroposterior (fig. 3) la fuerza en percentil 50 (fx_pct50) fue significativamente mayor en los sujetos con rotura del LCA que en sujetos control, tanto en la pierna lesionada como en la pierna sana, y la derivada de la fuerza percentil 50 (dfx_pct50) fue significativamente

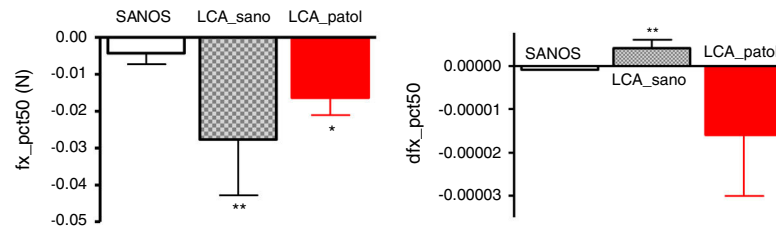


Figura 3 Prueba de la marcha con pivót, eje anteroposterior. Fuerza y derivada de la fuerza en el eje anteroposterior x, en las 2 piernas de sujetos control (SANOS, n=50) y en sujetos con rotura del LCA (n=30), tanto en la pierna sana (LCA_sano) como en la pierna lesionada (LCA_patol). Los valores positivos se refieren hacia delante y los negativos hacia atrás. Los valores se expresan como media \pm EEM. * $p < 0,05$.

** $p < 0,01$ significativamente diferente respecto de sujetos control.

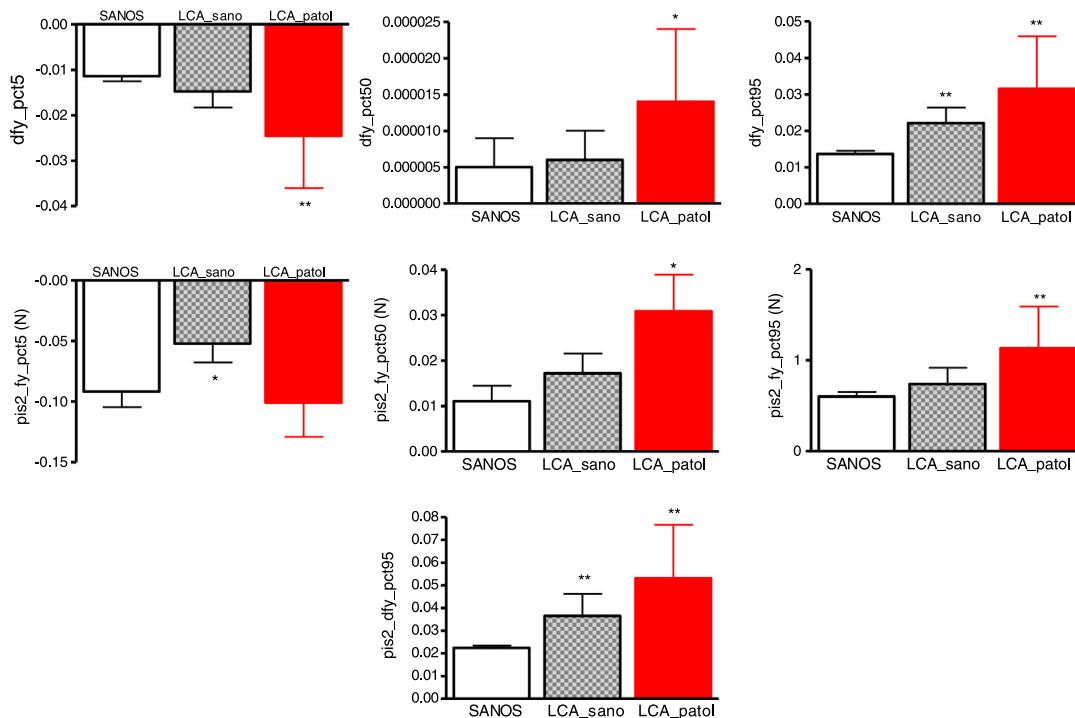


Figura 4 Prueba de la marcha con pivót, eje mediolateral. Fuerza y derivada de la fuerza en el eje mediolateral y, en la pierna de apoyo y en la pierna de salida (pis2.), en las 2 piernas de sujetos control (SANOS, n=50) y en sujetos con rotura del LCA (n=30), tanto en la pierna sana (LCA_sano) como en la pierna lesionada (LCA_patol). Los valores positivos se refieren hacia la zona lateral y los negativos hacia la zona medial. Los valores se expresan como media \pm EEM.

* $p < 0,05$.

** $p < 0,01$ significativamente diferente respecto de sujetos control.

mayor en la pierna sana que en sujetos control, sin presentar diferencias significativas entre ambas piernas en sujetos lesionados para ninguna de las 2 variables.

En relación con el eje mediolateral (fig. 4), en comparación con los sujetos sanos, los sujetos con rotura del LCA presentaron en la pierna de salida valores de fuerza menores en la pierna sana en el percentil 5 (pis2.fy.pct5) y significativamente mayores en la pierna lesionada para los percentiles 50 (pis2.fy.pct50) y 95 (pis2.fy.pct95), sin diferencias significativas en el resto de valores de fuerza. Además, en la pierna de apoyo, los valores de la derivada de la fuerza en el percentil 5 (dfy.pct5) y en el percentil 50 (dfy.pct50) fueron mayores que en sujetos control en la pierna lesionada; los valores de derivada de la fuerza percentil 95 (dfy.pct95)

fueron significativamente más altos en la pierna lesionada y en la pierna sana, tanto en la primera pisada (pierna de apoyo) como en la segunda pisada (pierna de salida).

En el eje vertical (fig. 5), en comparación con los sujetos sanos, la fuerza percentil 5 (fz.pct5) en la pierna lesionada y en la pierna sana fue significativamente menor, tanto en la primera pisada (pierna de apoyo) como en la segunda pisada (pierna de salida, pis2.). En la primera pisada la fuerza percentil 95 (fz.pct95) fue significativamente mayor en la pierna lesionada que en sujetos control, y la derivada de la fuerza eje z percentiles 5 (dfz.pct5) y 50 (dfz.pct50) fue significativamente mayor que en sujetos control en la pierna lesionada y en la pierna sana, y en el percentil 95 (dfz.pct95) fue significativamente mayor en la pierna

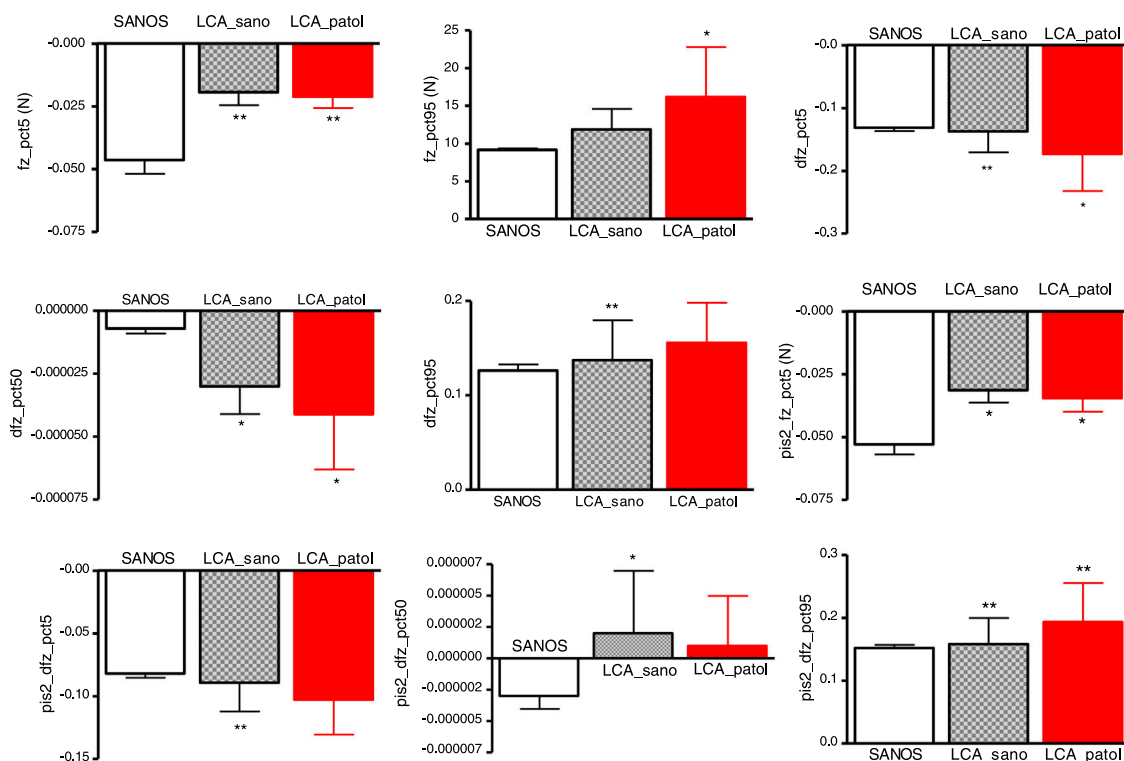


Figura 5 Prueba de la marcha con pivot, eje vertical. Fuerza y derivada de la fuerza en el eje vertical z, en la pierna de apoyo y en la pierna de salida (pis2.), en las 2 piernas de sujetos control (SANOS, n=50) y en sujetos con rotura del LCA (n=30), tanto en la pierna sana (LCA_sano) como en la pierna lesionada (LCA_patol). Los valores positivos se refieren hacia arriba y los negativos hacia abajo. Los valores se expresan como media \pm EEM.

* $p < 0,05$.

** $p < 0,01$ significativamente diferente respecto de sujetos control.

sana que en sujetos control. En la segunda pisada (pierna de salida), los valores de la derivada de la fuerza percentil 5 (pis2_dfz_pct5) fueron significativamente mayores y los de percentil 50 (pis2_dfz_pct50) fueron significativamente menores en la pierna sana que en sujetos control, mientras que los valores correspondientes al percentil 95 (pis2_dfz_pct95) fueron significativamente mayores que en sujetos control, tanto en la pierna sana como en la pierna lesionada para la pierna de salida.

Prueba de equilibrio

La prueba de equilibrio se ha realizado en sujetos sanos y en sujetos con rotura del LCA. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre sujetos lesionados y sujetos sanos en ninguno de los parámetros analizados con esta prueba, salvo en el test Romberg sobre gomaespuma con ojos abiertos, que fue significativamente menor en sujetos con rotura del LCA que en sujetos sanos (fig. 6).

Discusión

En sujetos con rotura de LCA, en la prueba cinemática de la marcha, se observó una disminución del ángulo máximo de la rodilla, lo que coincide con lo observado la serie de Hemmerich et al.²², y un aumento de los momentos articulares

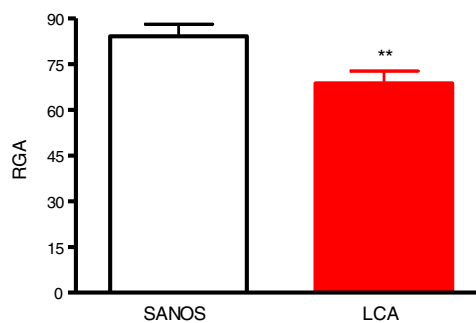


Figura 6 Prueba de equilibrio. Romberg sobre gomaespuma con ojos abiertos (RGA) en sujetos control (SANOS, n=27) y en sujetos con rotura del LCA (n=30). Los valores se expresan como media \pm EEM.

** $p < 0,01$, significativamente diferente de sujetos sanos.

de rodilla y tobillo de la pierna lesionada. López Hernández et al.²³ atribuyen las alteraciones cinemáticas de la pierna lesionada, al menos en parte, a la atrofia del cuádriceps que aparece tras la rotura del LCA y que se interpreta como un mecanismo protector que reduce la translación tibial anterior y reduce la sensación de inestabilidad rotacional. En la pierna sana de los sujetos lesionados se observa también un aumento de los momentos articulares de rodilla y tobillo, y además un aumento de la aceleración angular de la rodilla. Esto sugiere que estas alteraciones en los

parámetros angulares en la rodilla lesionada son compensadas mediante cambios en los momentos normalizados de tobillo y de rodilla de ambas piernas. Entre las 2 piernas de los sujetos con rotura de LCA se observa una menor velocidad angular media de la rodilla y del tobillo y un menor momento de rodilla normalizado en la pierna lesionada respecto de la sana, pero sin que ninguno de los valores sea significativamente diferente respecto del grupo control, lo que sugiere que las pequeñas alteraciones de la rodilla lesionada son compensadas con pequeños cambios adaptativos de la rodilla sana. Fuentes et al.²⁴ describieron que de todos los parámetros que se miden en el análisis cinemático de la marcha, solo unos pocos se ven alterados y, además, los parámetros que se alteran no son en su mayoría por incapacidad de la rodilla, sino por un intento de la rodilla de protegerse frente a la inestabilidad que provoca la rotura del LCA. No obstante, estos cambios compensadores, modificando la biomecánica de la marcha, podrían contribuir a la aparición de osteoartritis de la rodilla²⁵.

La rotura del LCA afecta a la cinética de la marcha, sobre todo a las fuerzas verticales, especialmente en los ejercicios de salto²³. En la prueba del análisis cinético de la marcha los sujetos con rotura del LCA presentaron una disminución de la fuerza de frenado, propulsión, despegue y oscilación de la pierna lesionada, mientras que en la pierna sana presentaron disminución de la fuerza de propulsión, sin cambios significativos en el resto de los parámetros medidos en esta prueba. Hay que resaltar que el parámetro de valoración global de la marcha de los sujetos, tanto patológicos como sanos, presentaron valoraciones por encima de 90%, indistintamente de la pierna analizada, y sin diferencias significativas entre pierna lesionada y pierna sana de sujetos con rotura del LCA, ni tampoco en ninguna de las 2 piernas con los sujetos sanos, lo cual indica que a pesar de la lesión todos los sujetos presentan valores de normalidad en su miembro inferior respecto de este parámetro. Una posible explicación a este hecho puede ser que alguna de las alteraciones en los parámetros observadas no sean consecuencia de la lesión, sino parte de mecanismos adaptativos que permiten al sujeto mantener una marcha global normal, a pesar de tener alteraciones en diversos parámetros. Estos resultados indican que la rotura del LCA no tiene una importancia elevada en la marcha de los individuos en las condiciones analizadas (en línea recta sobre suelo plano y estable).

En la prueba de la marcha con pivote el presente estudio muestra que los sujetos con rotura del LCA presentaron una tendencia al aumento de las fuerzas en los 3 ejes, anteroposterior, mediolateral y vertical, tanto en la pierna de apoyo como en la pierna de salida, en comparación con los sujetos sanos. El aumento de las fuerzas durante la marcha se transmite a través de ondas de choque desde el pie, por el sistema musculoesquelético hasta la cabeza, lo que puede afectar a los amortiguadores naturales (articulaciones, músculos, discos intervertebrales, etc.) y podría provocar cambios degenerativos en los mismos si la situación persistiera durante un tiempo prolongado²⁶. Fuentes et al.²⁴ han sugerido que en los sujetos con rotura del LCA se producen cambios adaptativos en la marcha, con reducción de la rotación interna de la rodilla y un mayor ángulo de flexión, para prevenir la inestabilidad rotacional anterolateral

de la rodilla, que serían menos eficientes para velocidades de marcha elevadas.

En la prueba de equilibrio, en comparación con los sujetos sanos, los sujetos con rotura del LCA presentaron una disminución en la puntuación del test Romberg sobre gomaespuma y ojos abiertos, aunque no presentaron cambios en la evaluación sensorial dinámica que valora conjuntamente los resultados obtenidos con las distintas modalidades del test de Romberg (ojos abiertos/cerrados y superficie estable o inestable —gomaespuma—). El resto de parámetros medidos en esta prueba no fueron significativamente diferentes con respecto a los sujetos sanos. La ausencia de grandes diferencias en la prueba de equilibrio puede deberse a que los test de equilibrio con apoyo bipodal no son lo suficientemente sensibles como para detectar las posibles alteraciones del equilibrio o del control postural producidas por las lesiones en el LCA²⁷, en contra de lo que se había descrito en trabajos anteriores²⁸.

Se han descrito en el presente trabajo las alteraciones funcionales que se producen en los pacientes con rotura del LCA en la marcha, en la estabilidad rotacional de la rodilla y el equilibrio, lo que nos da un punto de partida para evaluar cómo se restablece esta función con las técnicas de reconstrucción del LCA que se utilizan actualmente y nos ofrece la posibilidad de compararlas o de idear nuevas técnicas que intenten restablecer la funcionalidad de la rodilla de una forma más fisiológica.

Conclusiones

La rotura del LCA produce alteración del patrón de la marcha, alteración de las fuerzas ejercidas contra el suelo, de la duración de las pisadas, de la simetría entre ambas extremidades y de la repetitividad del gesto durante la marcha, alteración de la estabilidad rotacional de la rodilla en el eje sagital y alteración del equilibrio con apoyo bipodal.

Son necesarios nuevos estudios para determinar cuáles son los mejores test de evaluación anatómica y funcional del paciente con rotura del LCA. Se podrían plantear estudios de alteración de la estabilidad rotacional en estrés (escaleras, carrera o salto) y mediciones de equilibrio con apoyo monopodal.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia II.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Monk AP, Davies LJ, Hopewell S, Harris K, Beard DJ, Price AJ. Surgical versus conservative interventions for treating anterior cruciate ligament injuries. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016;4:CD011166.
2. Frobell RB, Lohmander LS, Roos HP. Acute rotational trauma to the knee: Poor agreement between clinical assessment and

- magnetic resonance imaging findings. *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17:109–14.
3. Ageberg E, Forssblad M, Herbertsson P, Roos EM. Sex differences in patient-reported outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction: Data from the Swedish knee ligament register. *Am J Sports Med*. 2010;38:1334–42.
 4. Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA, Bunt L. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: A national population-based study. *J Sci Med Sport*. 2009;12:622–7.
 5. Kvist J, Kartus J, Karlsson J, Forssblad M. Results from the Swedish national anterior cruciate ligament register. *Arthroscopy*. 2014;30:803–10.
 6. Bahr R, Holme I. Risk factors for sports injuries—a methodological approach. *Br J Sports Med*. 2003;37:384–92.
 7. Costa LA, Foni NO, Antonioli E, Teixeira de Carvalho R, Dias Paião I, Lenza M, et al. Analysis of 500 anterior cruciate ligament reconstructions from a private institutional register. *PLOS ONE*. 2018;13:e0191414.
 8. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. *Am J Sports Med*. 2006;34:299–311.
 9. Garrick JG, Requa RK. ACL injuries in men and women—how common are they? En: Griffin, editor. *Prevention of noncontact ACL injuries*. Rosemont, IL: American Academy of Orthopedic Surgeons; 2001.
 10. McNair PJ, Marshall RN, Matheson JA. Important features associated with acute anterior cruciate ligament injury. *N Z Med J*. 1990;103:537–9.
 11. Hernández L, Micheo W, Amy E. Rehabilitation update for the anterior cruciate ligament injured patient: Current concepts. *Bol Asoc Med P R*. 2006;98:62–72.
 12. Fu FH, Karlsson J. A long journey to be anatomic. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010;18:1151–3.
 13. Siebold R. Flat ACL anatomy: Fact no fiction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23:3133–5.
 14. Mall NA, Lee AS, Cole BJ, Verma NN. The functional and surgical anatomy of the anterior cruciate ligament. *Oper Tech Sports Med*. 2013;21:2–9.
 15. Otsubo H, Shino K, Suzuki D, Kamiya T, Suzuki T, Watanabe K, et al. The arrangement and the attachment areas of three ACL bundles. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20:127–34.
 16. Calvo R, Anastasiadis Z, Calvo Mena R, Figueroa D. Elección del injerto en la reconstrucción de ligamento cruzado anterior. ¿Existe un injerto ideal? *Rev Esp Artrosc Cir Articul*. 2017;24 Supl 1:59–66.
 17. Drews BH, Seitz AM, Huth J, Bauer G, Ignatius A, Dürselen L. ACL double-bundle reconstruction with one tibial tunnel provides equal stability compared to two tibial tunnels. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25:1646–52.
 18. Karikis I, Ahldén M, Casut A, Sernert N, Kartus J. Comparison of outcome after anatomic double-bundle and antero-medial portal non-anatomic single-bundle reconstruction in ACL-injured patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25:1307–15.
 19. Lord BR, El-Daou H, Sabnis BM, Gupte CM, Wilson AM, Amis AA. Biomechanical comparison of graft structures in anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25:559–68.
 20. Lloréns R, Colomer-Font C, Alcañiz M, Noé-Sebastián E. BioTrak: análisis de efectividad y satisfacción de un sistema de realidad virtual para la rehabilitación del equilibrio en pacientes con daño cerebral. *Neurología*. 2013;28:268–75.
 21. Baydal-Bertomeu JM, Viosca-Herrero E, Ortuño-Cortés MA, Quinza-Valero V, Garrido-Jaen D, Vivas Broseta MJ. Estudio de la eficacia y fiabilidad de un sistema de posturografía en comparación con la escala de Berg. *Rehabilitación*. 2010;44:304–10.
 22. Hemmerich A, van der Merwe W, Batterham M, Vaughan CL. Double-bundle ACL surgery demonstrates superior rotational kinematics to single-bundle technique during dynamic task. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2011;26:998–1004.
 23. López Hernández G, Fernández Hortigüela L, Gutiérrez JL, Forriol F. Protocolo cinético en la rotura del ligamento cruzado anterior. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2011;55:9–18.
 24. Fuentes A, Hagemeister N, Ranger P, Heron T, de Guise JA. Gait adaptation in chronic anterior cruciate ligament-deficient patients: Pivot-shift avoidance gait. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2011;26:181–7.
 25. Hall M, Stevermer CA, Gillette JC. Gait analysis post anterior cruciate ligament reconstruction: Knee osteoarthritis perspective. *Gait Posture*. 2012;36:56–60.
 26. Cámara J. Fuerza de reacción del suelo durante la marcha. Componente vertical y antero-posterior. *Educ Fis Deport*. 2011;30–2:607–25.
 27. Lion A, Gette P, Meyer C, Seil R, Theisen D. Effect of cognitive challenge on the postural control of patients with ACL reconstruction under visual and surface perturbations. *Gait Posture*. 2018;60:251–7.
 28. Kouvelioti V, Kellis E, Kofotolis N, Amiridis I. Reliability of single-leg and double-leg balance tests in subjects with anterior cruciate ligament reconstruction and controls. *Res Sports Med*. 2015;23:151–66.