

**DIFERENCIAS EN EL RENDIMIENTO EN
EL SALTO ENTRE JUGADOR@S DE
BALONMANO DE ÉLITE CON O SIN
RECONSTRUCCIÓN PREVIA DEL
LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR DE
LA RODILLA (LCA)**



A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Igor Setuain', is located below the logo. The signature is stylized and includes a circled number '12' at the end.

Igor Setuain

Centro de Estudios Investigación de Medicina del Deporte .Alumno del master en investigación en ciencias de la salud de la Universidad Pública de Navarra (UPNA). Junio de 2012

Director: Dr. Mikel Izquierdo. Departamento de Ciencias de la Salud. Universidad Pública de Navarra.

AGRADECIMIENTOS

El autor del presente trabajo desearía agradecer al Centro de Estudios, Investigación de Medicina del deporte (CEIMD), y al departamento de ciencias de la salud de la Universidad Pública de Navarra (UPNA) por el soporte en cuanto a instrumentalización prestado. Asimismo, desearía agradecer la colaboración de todos los entrenadores, médicos, preparadores físicos, fisioterapeutas y deportistas por su colaboración y disponibilidad para llevar a cabo el presente trabajo. Por último agradecer al Dr Mikel Izquierdo por la dirección y consejo para la realización del presente trabajo

ÍNDICE

Resumen.....	4
Introducción.....	5
Materiales y métodos	8
Resultados.....	13
Discusión	17
Bibliografía.....	26

RESUMEN

El balonmano es considerado uno de los deportes más exigentes para la articulación de la rodilla, donde la incidencia lesión del LCA es relativamente alta en comparación con otras disciplinas deportivas. No resulta infrecuente la convivencia con déficits de fuerza y control neuromuscular en atletas que han sufrido la lesión del LCA. La medición de variables relativas al rendimiento en el salto podría resultar de gran ayuda durante el proceso rehabilitador para garantizar una óptima vuelta a la competición y ayudar a minimizar los dramáticos y costosos episodios de recaída que asocia esta lesión en jugadores de balonmano de élite.

OBJETIVO e HIPOTESIS: Examinar las diferencias entre los atletas previamente lesionados del LCA y atletas sanos de control, en la ejecución de una batería de saltos verticales y horizontales, analizando variables de estudio del salto como el tiempo de contacto, tiempo de vuelo potencia mecánica y distancia alcanzada. La hipótesis del estudio sostiene que los atletas previamente lesionados del LCA, mostrarán déficits en relación a las variables sometidas a estudio a pesar de haber completado su proceso recuperador y estar totalmente integrados en la vuelta a la competición.

MATERIALES Y MÉTODOS: 13 Hombres y 20 mujeres jugadores de balonmano de élite (6 previamente lesionados y reconstruidos del LCA y 7 atletas sanos de control en el grupo de los hombres y 6 previamente lesionadas y reconstruidas del LCA y 14 atletas sanas de control en el grupo de las mujeres respectivamente) fueron evaluados utilizando una batería de saltos validada previamente que incluye el drop jump bilateral, el drop jump unilateral, salto contramovimiento unilateral, el triple salto de longitud y el triple salto cruzado de longitud. Durante la ejecución de dicha batería se registraron la altura (m), el tiempo de vuelo time (s), el tiempo de contacto (s), la potencia mecánica desarrollada ($W \cdot kg^{-1}$) y la distancia alcanzada (m). Para los saltos unilaterales, la comparación se realizó entre la pierna lesionada y la pierna dominante de los controles sanos. Para los saltos bilaterales, en cambio la comparación se realizó entre los sujetos lesionados y los sanos. Para el tratamiento estadístico de los datos, se calcularon las medias y desviaciones estándar de cada variable en cada grupo, analizando los resultados de cada sexo por separado. La comparación de los resultados obtenidos en cada grupo se realizará mediante la prueba T-test para muestras independientes. El programa estadístico utilizado será el SPSS v16.0 (Chicago, IL).

RESULTADOS: Las atletas previamente lesionadas del LCA, demostraron menor tiempo de contacto en el drop jump bilateral (0,393 vs 0,541 s; $P < 0.001$) así como una menor distancia alcanzada en el triple salto de longitud (0,382 vs 0,435 m; $P < 0.05$) con respecto al grupo atletas sanas de control. Los atletas previamente lesionados del LCA, demostraron menor potencia mecánica desarrollada en el drop jump unilateral (11,06 vs. 17,43 $W \cdot kg^{-1}$; $P < 0.05$) en la extremidad afectada con respecto al grupo de control. No se encontraron diferencias significativas en el resto de variables sometidas a estudio.

CONCLUSION: Los jugadores con antecedente de lesión del LCA, podrían arrastrar secuelas funcionales aún después de haber vuelto a la competición, aumentando de esta manera el riesgo de recaída. El reestablecimiento de la simetría entre la extremidad sana y la lesionada, podría ayudar a reducir el riesgo de recaída de la lesión del LCA en jugadores de balonmano de élite.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años, el balonmano ha experimentado un incremento considerable tanto en el número de practicantes, como ha sucedido en otras muchas disciplinas consecuencia de la socialización del deporte, así como un desarrollo importante sobre todo en las más altas esferas de la competición en lo referente a sus demandas físicas y tácticas [1]. El juego a nivel profesional, se ha convertido en un deporte muy exigente a nivel físico, obligando a los jugadores a poseer envidiables condiciones tanto físicas como técnicas y mentales tanto en jugadores masculinos como femeninos [1-4]. Se ha demostrado que los factores de fuerza, potencia muscular y velocidad de lanzamiento, son los más determinantes a la hora de mejorar el rendimiento en las ligas de balonmano de élite [1-4].

Aunque actualmente hay un gran cantidad de referencias bibliográficas que sitúa a las mujeres entre 4 y 7 veces más expuestas a la lesión del LCA que los hombres antes las mismas actividades, la incidencia de esta lesión en el género masculino no es infrecuente [5;6]. Seil et al [7], determinaron una incidencia de la esta lesión de 0.6 por 1000 horas de entrenamiento, y 14.3 por 1000 horas de competición en una cohorte de 186 jugadores de balonmano recreacionales. Los autores publicaron que las lesiones de extremidad inferior en balonmano, suponían el 54% del total, siendo la rodilla la articulación más expuesta, seguida de las inter-falángicas de la mano, hombro y tobillo. En este contexto, resulta de gran interés destacar, la abultada diferencia en la incidencia de lesiones registrada en situaciones de entrenamiento y competición, probablemente debida a la intensidad de las acciones y el deseo de victoria presente en situaciones de competición.

Debido a las necesidades de cambio repentino de movimiento, manejo de acciones no planeadas, junto con las características intrínsecas del balonmano, las lesiones a nivel de la articulación de la rodilla son comunes en los practicantes de este deporte [1;8;9]. Olsen et al [10], propusieron el “denominado colapso en valgo” durante las acciones de recepción tras salto y finta, como el mecanismo más frecuente de lesión del LCA de la rodilla.

En la actualidad, el tratamiento por defecto de esta lesión contempla la reconstrucción quirúrgica del ligamento, con la utilización principalmente de plastias de los tendones de la plata de ganso o rotuliano [8]. Sin embargo, existe un cuerpo de evidencia en desarrollo que argumenta que algunos individuos, en torno al 30% podrían tener la posibilidad de compensar la inestabilidad articular provocada por la ausencia del ligamento, sin la necesidad de someterse al tratamiento quirúrgico [11]. Tanto las técnicas quirúrgicas como las de rehabilitación, han soportado un importante desarrollo en los últimos años, pero a pesar de ello, todavía persisten ciertas lagunas acerca de la información exacta del número de atletas que retoman satisfactoriamente el nivel de actividad anterior a la lesión del LCA. Myklebust et al [8], examinaron los resultados a nivel radiológico, clínico y funcional de 86 jugadores profesionales de balonmano de ambos sexos que habían sufrido la lesión del LCA. Los autores reportaron que el 58% de los deportistas reconstruidos y el 82% de los no reconstruidos fueron capaces de volver a su nivel de actividad previo a la lesión. A la hora de interpretar estos resultados, hay que tener en cuenta que el grupo de reconstruidos incluye a atletas de buen y mal pronóstico inicial, mientras que los no reconstruidos, no lo fueron, fundamentalmente debido a que habrían sido calificados como compensadores de la lesión sin necesidad de reconstrucción.

Daniel et al (1994) reportaron un 50% éxito en la vuelta a la competición en deportes como el baloncesto, fútbol, tenis, esquí tras sufrir la lesión del LCA tanto en deportistas reconstruidos como en deportistas tratados de manera conservadora. Recientemente, Kessler et al [12], compararon los resultados de ambos tratamientos en una cohorte de 136 atletas recreacionales tras 11 años de promedio de haber sufrido la lesión de LCA. Los autores mostraron una mayor riesgo de desarrollo de artrosis en el grupo de los tratados mediante cirugía mientras que los resultados que comparaban la funcionalidad entre grupos no mostraron diferencias significativas. En este sentido, debería tenerse en cuenta que el mayor riesgo de desarrollo de artrosis en el grupo asociado a la reparación quirúrgica de la lesión, estaría muy influenciado por las menisectomías paralelas realizadas en el momento de la intervención, no sólo por la lesión del LCA en sí misma. Los presentes resultados deben analizarse con cautela, debido a la posibilidad de la existencia de sesgos intra-estudio por la naturaleza de los diferentes diseños de los trabajos y la heterogeneidad de la muestra analizada, al tratarse de deportistas de diferentes disciplinas y niveles de competición. Muchas de las dificultades intrínsecas en la rehabilitación de un deportista con lesión de LCA a su nivel de actividad previo a la lesión, se hallan en la falta de estandarización de los criterios a seguir a lo largo del proceso recuperador [13-16].

Un régimen de rehabilitación incompleto o deficiente tras la lesión del LCA, incrementaría tanto el riesgo de recaída de la extremidad afecta, como el de lesión del LCA de la rodilla contralateral. La identificación de los déficits a nivel biomecánico, funcional y neuromuscular es antoja crucial para la prevención de la recaída de la lesión del LCA [14;17-19] .Por lo tanto el objetivo del presente trabajo es el de examinar las diferencias en los patrones de movimiento, a través de la medición del rendimiento en el salto en jugadores profesionales de ambos sexos de balonmano de élite en el momento

de su temporada de la competición. La hipótesis del estudio sugiere que los jugadores con antecedente previo y posterior reconstrucción de la lesión del LCA, presentaran déficits en las variables sometidas a estudio con respecto a aquellos jugadores del mismo sexo y nivel de actividad que no han sufrido dicha lesión, a pesar de haber pasado años tras la lesión original y estar compitiendo al mismo nivel que antes de haber sufrido la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

Para la realización del presente trabajo, se llevo a cabo un estudio transversal, con el objetivo de identificar las posibles diferencias a nivel del rendimiento en el salto y el patrón de movimiento, en jugadores profesionales de balonmano de ambos sexos, mientras se hallaban encuadrados en su temporada de competición

La población sometida a estudio, consistió en 33 jugadores, 20 mujeres y 13 hombres. Se encontraron 7 sujetos con lesión de LCA en cada grupo. El promedio y desviación estándar del tiempo transcurrido desde la reconstrucción quirúrgica fue de $6 \pm 3,51$ años en las mujeres y de $6,33 \pm 3.44$ años en los hombres.

Las características físicas de ambos sexos se muestran en las tablas 1 y 2 respectivamente. Se definió la pierna dominante como la preferida por los sujetos para batir en el salto, lo que resultó en 14 piernas dominantes izquierdas y 7 dominantes derechas en el grupo de las mujeres y 12 piernas dominantes izquierdas y dos derechas en el grupo de los hombres.

Todos los equipos se encontraban en el momento del la realización del estudio en la máxima categoría nacional y dos de ellos competían también en competición internacional en dicha temporada. El reclutamiento se realizó mediante entrevista

personal con el entrenador de cada equipo. Los antecedentes de lesión se registraron vía cuestionario directo al jugador en el momento de la realización de la sesión de test y fueron contrastados con los registros de lesiones del equipo médico de cada club.

Procedimiento de test

Los sujetos fueron evaluados mediante la utilización de una batería de saltos previamente validada para la detección de anomalías funcionales en atletas lesionados del LCA de la rodilla (Noyes et al 1991), que incluye la realización de saltos verticales (Drop jump bilateral VBDJ, drop jump unilateral VUDJ, salto contramovimiento VUCMJ) y horizontales (triple salto de longitud unilateral HTHD y triple salto cruzado de longitud unilateral HCHD). Estudios previos han corroborado la fiabilidad de este procedimiento [18;20]. Durante la ejecución del mismo, se registraron las variables de estudio; el tiempo de vuelo (s), tiempo de contacto (s), la potencia mecánica ($W \cdot kg^{-1}$) mediante utilización de una plataforma de contacto (Sportjump system PRO, DSD, Spain), en el caso de los saltos verticales, así como la distancia alcanzada (m), en los saltos horizontales. Para la comparación de resultados entre grupos, en los saltos unilaterales, se analizaron los datos obtenidos por las extremidades lesionadas del grupo con antecedente previo de lesión de LCA y las piernas dominantes del grupo de control.

Además se calculó también el índice de simetría entre extremidades, de los sujetos del grupo de lesionados, realizando el cociente entre los valores reportados por la pierna reconstruida entre los obtenidos por con la extremidad sana.

$$\frac{\text{Reconstructed limb}}{\text{Contralateral healthy limb}} \times 100$$

En el Drop jump bilateral debido a la utilización de una sola plataforma de contactos, la comparación se realizó analizando los valores obtenidos entre sujetos,

registrando los valores obtenidos en cada salto en el grupo de sanos y en el grupo de los lesionados respectivamente.

Todos los participantes realizaron la batería de test dentro de una sesión de entrenamiento rutinaria. No se facilitó a los sujetos ninguna explicación previa acerca de la ejecución correcta de la técnica de la maniobra, para evitar alterar la ejecución de la misma. Los sujetos fueron animados a realizar los altos a la máxima intensidad posible, intentando alcanzar la máxima altura en cada acción.

Los jugadores realizaron dos repeticiones de calentamiento y familiarización antes de realizar las repeticiones que resultarían registradas. Con el objetivo de reducir la variabilidad en las medidas obtenidas, durante la realización de los saltos del procedimiento de test, los sujetos debían mantener las dos manos a nivel de las crestas ilíacas y no modificar esa posición durante toda la maniobra.

Tanto los jugadores como los entrenadores fueron informados en detalle del procedimiento experimental y de los posibles riesgos y beneficios del proyecto, que fue aprobado por el comité revisión del Instituto Navarro de Deporte y Actividad Física, y llevado a cabo de acuerdo con la declaración de Helsinki.

A continuación se describen uno por uno los diferentes tipos de acciones de salto, englobados dentro de la batería de test empleada en el presente trabajo:

Vertical bilateral Drop Jump:

Para la realización del VBDJ, el paciente se colocó sobre un banco situado a 50 cm del suelo. Posteriormente, se le indicaba que debía dejarse caer del mismo, recepcionando con ambas piernas, para inmediatamente después saltar nuevamente lo más alto posible aterrizando dentro de los márgenes de la plataforma de saltos (Sportjump system PRO, DSD, Spain), colocada justo a continuación del banco. Se

registraron dos repeticiones intercaladas con 10 segundos de descanso. La repetición en donde mayor altura de vuelo se había logrado, fue utilizada para el análisis estadístico.

Vertical unilateral Drop Jump:

Para la realización del VBDJ, el paciente fue colocado sobre un banco situado a 20 cm del suelo. Posteriormente, se le indicaba que debía dejarse caer del mismo, recepcionando con una pierna, para inmediatamente después saltar nuevamente lo más alto posible aterrizando dentro de los márgenes de la plataforma de saltos (Sportjump system PRO, DSD, Spain) colocada justo a continuación del banco, con la misma pierna con la que había recepcionado la caída desde el banco. Se realizaron dos repeticiones de familiarización, Posteriormente, se registraron dos repeticiones intercaladas con 10 segundos de descanso. La repetición en donde mayor altura de vuelo se había logrado, fue utilizada para el análisis estadístico [21;22].

Salto contramovimiento unilateral:

Para la realización del salto vertical con una pierna, el sujeto se colocaba en apoyo monopodal, con las manos en la cintura, dentro de los límites de la plataforma de saltos (Sportjump system PRO, DSD, Spain). Desde esa posición del deportista debía realizar un salto lo más alto posible y volver a caer a una pierna dentro de los límites de la plataforma. . Se realizaron dos repeticiones de familiarización, Posteriormente, se registraron dos repeticiones intercaladas con 10 segundos de descanso. La repetición en donde mayor altura de vuelo se había logrado, fue utilizada para el análisis estadístico [21;22].

Triple salto de longitud unilateral:

La realización del UTH se efectuó tal como previamente fue validado por Noyes et al [23]. Los participantes, se colocaban en apoyo monopodal, con las manos en la cintura, para realizar tres saltos consecutivos de longitud con el objetivo de alcanzar la

máxima longitud posible. Los deportistas debían ser capaces de mantener el equilibrio al menos un segundo en la última recepción. Tras dos ejecuciones de calentamiento y familiarización, los sujetos realizaron dos ejecuciones con cada extremidad, con un descanso de diez segundos entre las mismas, registrando aquella donde mayor distancia horizontal se había alcanzado (m) de cada extremidad para el posterior análisis estadístico.

Triple salto cruzado de longitud unilateral

La realización del HCHD se efectuó bajo las bases previamente establecidas por Noyes et al [23]. Los participantes se colocaban en apoyo monopodal, con las manos en la cintura, para realizar tres saltos consecutivos con una pierna a lado y lado de una línea de 15 cm de ancho que no podían pisar. Los sujetos realizaron dos repeticiones de calentamiento y familiarización para posteriormente realizar dos ejecuciones con cada pierna de test, con un descanso de 10 segundos entre ambas, registrando la repetición con mayor distancia alcanzada, para el posterior análisis de datos.

Los Coeficientes de correlación intraclase para las variables antropométricas y de salto fueron mayores de 0.95, y los coeficientes de variación se hallaban comprendidos entre 0,94 y el 1,5 %.

Análisis estadístico:

Para el cálculo de las medias y la desviación estándar, se emplearon métodos estadísticos estándar. Las mediadas obtenidas de las variables sometidas a estudio en el presente trabajo, fueron examinadas para verificar la distribución normal de los datos mediante la utilización del test de Kolmogorov- Smirnov.

Para la comparación de las medias de los datos de cada variable registrada en cada salto en cada grupo, se realizó un t- test de muestras pareadas. El nivel de

significancia fue fijado en $P \leq 0.05$. Todo el análisis estadístico fue realizado mediante la utilización del programa estadístico SPSS v14 (SPSS, Chicago, IL).

RESULTADOS

Las características antropométricas y de salto de mujeres y hombres quedan resumidas en las tablas 1 y 2 respectivamente.

En el grupo de las mujeres, los tiempos de contacto en el Drop Jump Bilateral, demostraron ser significativamente ($P < 0.05$) menores en las deportistas del grupo de lesionadas del LCA 451.44 ± 182.61 vs 301.29 ± 107.45 ms (figura 1). Asimismo, este grupo de jugadoras, alcanzaron menos distancia en el triple salto de longitud unilateral con respecto al grupo de jugadoras sanas de control 382.0 ± 54.61 vs 442.86 ± 44.7 cm; $P < 0.05$ (figura 2).

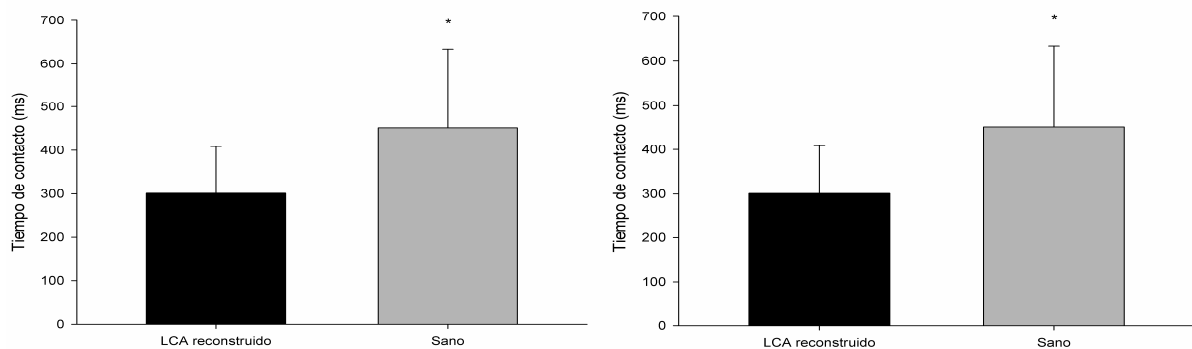


Fig 1 y 2 . Drop jump blilateral y tripe salto de longitud en mujeres con o sin lesión LCA

TABLA 1. Datos descriptivos de las variables demográficas y de salto en las atletas femeninas

		Todas las participantes	Controles	LCA reconstruido	T-test. P Value*
Edad (años)		23.4 ± 4.6	25.2 ± 5.1	26.4 ± 4.0	ns
Peso (Kg)		67.3 ± 7.1	70.2 ± 6.9	61.8 ± 3.9	<0.05
Altura (cm)		173.4 ± 6.1	175.8 ± 5.8	169.0 ± 4.4	<0.05
Bilateral Drop Jump	Tiempo vuelo (ms)	471.2 ± 34.4	481.7 ± 28.0	451.7 ± 151.1	<0.05
	Tiempo contacto	401.1 ± 168.0	428.7 ± 180.6	349.4 ± 151.1	ns
	Producción potencia mecánica (W·Kg ⁻¹)	26.8 ± 4.2	27.3 ± 3.4	25.9 ± 5.8	ns
Unilateral Drop Jump	Tiempo vuelo (ms)	336.6 ± 34.4	340.0 ± 29.8	330.3 ± 45.2	ns
	Tiempo contacto	378.1 ± 162.0	388.8 ± 166.1	357.9 ± 174.3	ns
	Producción potencia mecánica (W·Kg ⁻¹)	9.4 ± 5.4	9.0 ± 5.2	9.9 ± 6.6	ns
Unilateral Counter Movement Jump	Tiempo de vuelo (ms)	335.6 ± 32.5	344.1 ± 25.2	320.6 ± 41.7	ns
Unilateral Tripe Hop for Distance	Distancia (cm)	420.7 ± 54.6	442.9 ± 44.7	382.0 ± 54.6	<0.05
Cross Over Hop for Distance	Distancia (cm)	312.9 ± 50.8	326.1 ± 44.8	289.6 ± 58.2	ns
Índice simetría extremidades inferiores (LSI)	%			103.9 ± 10.9	
Abreviaturas: Kgs. kilogramos; cm. centímetros; ms. milisegundos; W·kg ⁻¹ . Watos·kilogramo ⁻¹ . Denota diferencias significativas entre grupos. LSI solamente calculado en las atletas previamente reconstruidas.					

Respecto al grupo de los hombres, los deportistas previamente lesionados del LCA demostraron desarrollar menor potencia mecánica en el Drop Jump Unilateral con

respecto a los jugadores sanos del grupo de control $19.17 \pm 4,71$ vs 12.33 ± 4.0 $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$, ($P < 0.05$) respectivamente (figura 3).

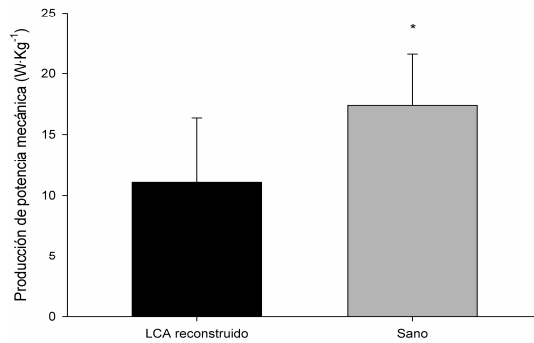


Fig 1 y 2 . Drop jump unilateral en hombres con o sin lesión LCA

En el análisis de los índices de simetría entre extremidades inferiores en el grupo de los lesionados expresado como la media de todos los índices de simetría reportados por todos los sujetos en cada salto de la batería de test, no se encontraron diferencias clínicamente relevantes (por encima del 15% de déficit de una extremidad respecto a la contralateral) en el grupo de las mujeres ($103.86 \pm 10,83\%$), ni en el de los hombres ($97.4 \pm 2.57\%$) previamente reconstruidos de la lesión del LCA (tablas 1 y 2).

No se encontraron diferencias significativas en el resto de las variables sometidas a estudio, entre los deportistas sanos y aquellos previamente reconstruidos del LCA, independientemente del sexo (tablas 1 y 2)

TABLA 2. Datos descriptivos de las variables demográficas y de salto en las atletas masculinos

		Todos los participantes			Controles			LCA reconstruido			T-test. P Value*
Edad (años)		25.7	±	4.1	24.0	±	4.3	27.7	±	3.1	ns
Peso (Kg)		92.7	±	9.7	93.3	±	11.3	92.1	±	8.5	ns
Altura (cm)		189.1	±	6.0	189.8	±	6.5	188.3	±	5.7	ns
Bilateral Drop Jump	Tiempo vuelo (ms)	548.3	±	42.1	554.1	±	31.3	541.5	±	54.4	ns
	Tiempo contacto	290.9	±	68.3	260.4	±	34.9	326.4	±	83.2	ns
	Producción potencia mecánica (W·Kg ⁻¹)	29.7	±	4.9	28.8	±	4.6	30.7	±	5.4	ns
Unilateral Drop Jump	Tiempo vuelo (ms)	421.2	±	48.5	436.9	±	55.5	402.9	±	34.7	ns
	Tiempo contacto	296.4	±	120.4	243.9	±	31.3	357.57	±	158.92	ns
	Producción potencia mecánica (W·Kg ⁻¹)	16.0	±	5.5	19.2	±	4.7	12.3	±	4.0	<0.05
Unilateral Counter Movement Jump	Tiempo de vuelo (ms)	407.6	±	39.9	422.9	±	35.2	389.9	±	40.4	ns
Unilateral Tripe Hop for Distance	Distancia (cm)	531.7	±	78.0	524.3	±	59.4	540.3	±	101.1	ns
Cross Over Hop for Distance	Distancia (cm)	441.9	±	86.1	440.0	±	96.53	444.0	±	81.27	ns
Índice simetría extremidades inferiores (LSI)	%							97.4	±	2.6	
Abreviaturas: Kgs. kilogramos; cm. centímetros; ms. milisegundos; W·kg ⁻¹ . Watios-kilogramo ⁻¹ . Denota diferencias significativas entre grupos. LSI solamente calculado en las atletas previamente reconstruidas.											

DISCUSIÓN

El objetivo del presente trabajo fue examinar las posibles diferencias en el rendimiento y patrón del salto entre una muestra de jugadores de balonmano de élite profesionales, comparando los atletas lesionados y reconstruidos de la lesión del LCA con los jugadores sanos del mismo sexo, nivel de competición y deporte.

El principal hallazgo del presente trabajo, se centra en la identificación de déficits en el rendimiento en el salto en aquellos jugadores previamente lesionados del LCA, tras una media de seis años de la lesión inicial, a pesar de haber vuelto a la competición y llevar años al mismo nivel de actividad que antes de sufrir la rotura del LCA. En el grupo de las mujeres, las deportistas previamente lesionadas, mostraron menores valores de tiempo de contacto en el Vertical Drop jump unilateral, y menor distancia alcanzada en el triple salto de longitud unilateral, con respecto a las jugadoras sanas del grupo de control. En el grupo de los hombres, aquellos jugadores previamente lesionados del LCA, demostraron desarrollar menor potencia mecánica en el Drop Jump Vertical Bilateral en su pierna previamente reconstruida en comparación con los jugadores sanos del grupo de control.

Los resultados experimentales sostienen la hipótesis del estudio, basada en la persistencia de déficits funcionales en los deportistas previamente lesionados del LCA, a pesar de haber transcurrido años desde la lesión original. Estos déficits afectarían tanto a hombres como a mujeres, profesionales de balonmano de élite, y deberían ser identificados y controlados con el objetivo de garantizar un óptimo retorno a los terrenos de juego tras esta grave lesión.

Estudios previos, ya habían reportado déficits funcionales en deportistas tras la reconstrucción del LCA [18;24-28]. Sin embargo bajo el conocimiento del autor, el presente, es el primer estudio en identificar déficits funcionales en deportistas profesionales de balonmano de ambos sexos lesionados anteriormente del LCA, utilizando una batería de test valida , reproducible en el mismo lugar de entrenamiento convencional de los equipos, y de bajo coste.

De acuerdo con estos resultados, Mycklebust et al [8], encontraron resultados similares en jugadores de balonmano de alto nivel de ambos sexos que fueron seguidos entre 6 y 11 años desde su lesión de LCA. Los autores reportaron una funcionalidad de la articulación de la rodilla comprometida en la mitad de los sujetos que fueran tratados quirúrgicamente, o no, de la lesión de LCA, en relación a test de salto, hallazgos radiológicos de desgaste articular, mediciones de fuerza y cuestionarios de valoración subjetiva de la función de la rodilla.

Los autores concluyeron, que la recomendación médica acerca de la idoneidad de la vuelta a la práctica deportiva de un deporte de riesgo para la salud de la articulación de la rodilla, debería ser restringida si la función de la rodilla a largo plazo es el objetivo prioritario. De igual manera, los autores reconocían la dificultad en discriminar si los déficits mostrados en el estudio eran atribuibles a la lesión original o al desgaste articular derivado de mantener durante los años siguientes a la lesión la exposición repetida a maniobras de riesgo para la integridad de la articulación de la rodilla, derivado de la propia práctica del deporte de balonmano de alto nivel.

La naturaleza multifactorial del mecanismo lesional y la alteración de la función subsecuente a la lesión del LCA, parecen dos mecanismos explicativos del descenso en el rendimiento que parece presente en los deportistas previamente lesionados de este ligamento. De acuerdo con estudios previos [18;24-28], los resultados del presente

trabajo sugieren que variables fácilmente obtenibles con la utilización de una plataforma de contacto (tiempo de vuelo, de contacto y potencia mecánica durante el salto), y de una cinta métrica (distancia alcanzada en un salto horizontal), pueden tener un gran potencial de acción clínico para detectar déficits funcionales en jugadores profesionales de balonmano independientemente del sexo, previamente lesionados del LCA. Un resultado hallazgo del presente trabajo, es la persistencia de déficits en el salto a pesar de haber vuelto al máximo nivel de competición y llevar años entrenando de manera continuada.

En este sentido, estudios previos han demostrado alteraciones biomecánicas y funcionales tanto antes como después de la lesión del LCA. Hewett et al [29], identificaron dos parámetros, potencialmente válidos para la predicción de la lesión del LCA en una cohorte de 205 atletas femeninas de carácter recreacional. Las atletas que prospectivamente sufrirían una lesión de LCA, demostraron mayores valores de fuerza de reacción del suelo pico (PGRF) (20%) y tiempos de contacto menores (16%) durante la ejecución de un Drop Jump Vertical Bilateral, en comparación con las atletas que no se lesionaron en el tiempo de vigilancia que duró el estudio. Zebis et al [9], realizaron un estudio de electromiografía durante acciones específicas en jugadoras profesionales de balonmano, y un seguimiento posterior de la incidencia de lesiones del LCA a lo largo de dos temporadas de esa cohorte de jugadoras. Los autores encontraron niveles inferiores de preactivación en el músculo semitendinoso y superiores del vasto lateral, en las jugadoras que prospectivamente, resultarían lesionadas del LCA, comparado con las que no sufrieron este tipo de lesión. Mohammadi et al [25], publicaron en un estudio sobre 30 jugadores de fútbol y baloncesto 8 meses tras la reconstrucción del ligamento, que el barrido del centro de masas durante una estabilometría unipodal en la pierna lesionada y la fuerza de reacción del suelo vertical (VGRF) de la pierna sana,

permanecían aumentadas en los sujetos lesionados con respecto al grupo de control. Este último hallazgo ha sido ampliamente reportado en la bibliografía [17;18].

De acuerdo con los resultados obtenidos por el presente trabajo de investigación, el hecho de que el índice de simetría entre extremidades no alcanzara valores de relevancia clínica [14], podría atender al menos parcialmente, al hecho de la posible existencia de una alteración en la gestión de las fuerzas actuantes a nivel de la articulación de la rodilla, no sólo en la pierna lesionada sino en la contralateral [17;18], donde como estrategia de protección de la pierna lesionada, el propio cuerpo podría adoptar la medida de absorber más fuerza con la pierna sana, aumentando de esta manera el riesgo de lesión de la pierna contralateral, no lesionada.

Por lo tanto, las alteraciones tanto en el rendimiento en el salto como en la biomecánica del mismo, encontradas en sujetos previamente lesionados del LCA, podrían explicarse por adaptaciones de origen neuromuscular en relación a la forma en que la musculatura involucrada en la correcta gestión del movimiento es activada, y la manera en la que las fuerzas externas actuantes en estas situaciones son soportadas. En ese sentido, Glatthorn et al [30], , encontraron una alteración en la actividad electromiográfica del músculo vasto lateral asociada a la debilidad del cuádriceps en una muestra de 14 sujetos 6 meses después de una meniscectomía parcial por artroscopia. Los autores concluyeron que la debilidad del cuádriceps encontrada, podría ser explicada por un fallo de activación neural inhibiendo dicha musculatura de poder realizar un esfuerzo muscular máximo. Otros estudios han sostenido esta hipótesis acerca de la debilidad en el cuádriceps originada por una inhibición de tipo neural [31;32]. En esta misma línea, Hurley [33], analizó en una revisión de la literatura, los efectos del daño articular en la función muscular, la propiocepción y la rehabilitación. El autor argumentó que tras un daño articular de origen traumático o degenerativo, se produce una inhibición

en la activación del músculo cuádriceps, y que la magnitud de dicha reducción, parece relacionada con el daño articular producido originalmente. Este mecanismo de inhibición neural, podría ser explicado bien por una reducción del umbral de excitación de la motoneurona gamma, afectando la apreciación y control del movimiento, o por su parte por una alteración en el umbral de excitación de la motoneurona alfa, causando un fallo en la activación del músculo cuádriceps. Además, otros autores, han encontrado una ganancia del 13% de fuerza tras reabsorber una inflamación artificial en la articulación de la rodilla, y un 8 % de ganancia adicional tras anestesia [34]. Parece por lo tanto, que tanto los mecanorreceptores articulares como otros mediadores de la señal del dolor (terminaciones nerviosas libres en la cápsula articular), podría estar envueltos en el fenómeno de inhibición de la activación del cuádriceps femoral, reportado tras lesión articular grave en la articulación de la rodilla. Sin embargo, se debe enfatizar que se trata de modelos de justificación que deben ser validados en ensayos bien diseñados para determinar su fiabilidad.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo relativos a la persistencia de déficits funcionales en sujetos previamente reconstruidos de la lesión del LCA, años después de la misma y tras volver al máximo nivel de competición, constituye un factor de riesgo palpable de recaída de la lesión original [35]. Revisando el estado del conocimiento actual referente al mecanismo lesional de la lesión del LCA y la multifactorialidad de los factores de riesgo involucrados, parece razonable hablar de la existencia de la denominada “adaptación neuromuscular” a nivel de la articulación de la rodilla tras lesión del LCA [11;36;37]. La manera en que el sistema nervioso central se encuentra afectado tras la lesión original y los subniveles en donde estas hipotéticas adaptaciones tendrían lugar, quedan todavía por ser esclarecidas, pero existe cada vez

más evidencia mostrando la existencia de patrones de adaptación del movimiento en sujetos previamente lesionados del LCA [11;25;26;35;37-39]

De manera similar Ortiz et al [40], encontraron mayores momentos de fuerza internos de extensión y valgo y diferencias electromiográficas significativas en mujeres reconstruidas del LCA, y un grupo de control del mismo sexo. Dichos autores, concluyeron que las mujeres reconstruidas, revelaron mayores ratios de co-contracción entre los músculos cuádriceps e isquiotibial, probablemente en un intento de atenuar las fuerzas de cizalla antero- posterior actuantes a nivel de la articulación de la rodilla y que suponen un riesgo evidente para la integridad del LCA. De manera similar , Gokeler et al [27] encontraron tiempos de activación más tempranos y una reducción en la excursión angular, en sujetos previamente reconstruidos del LCA, en la realización de un salto de distancia unilateral. Además, los autores observaron un balanceo anterior de la pierna contralateral, propuesto como una estrategia de atenuación de la fuerza de reacción del suelo vertical (VGRF) y el momento interno de extensión. Los resultados del presente trabajo, podrían ser superpuestos a la posible existencia de una modificación en el patrón de movimiento en sujetos previamente lesionados del LCA, propiciando al atleta la adopción de una estrategia inconsciente, y función limitante, en un intento por evitar la recaída su lesión.

Por otro lado, la proporción de atletas que vuelven al mismo nivel de actividad previo a la lesión del LCA, no se encuentra muy recogido en la literatura, a pesar del potencial del tiempo de baja de esta lesión. Hartigan et al [41], publicaron que entre el 43 y el 92 % vuelven al nivel de competición previo a la lesión del LCA. En la práctica clínica, es frecuentemente responsabilidad del fisioterapeuta determinar cuando un paciente es capaz de tolerar las demandas físicas de las actividades de la vida diaria, y la posterior participación en el deporte, así como programar las estrategias de prevención

para evitar lesiones en el futuro [13;15;16;19;42]. En ese sentido, el criterio de vuelta al deporte tras la lesión del LCA, debería recoger todas las consideraciones biomecánicas, de fuerza y de control neuromuscular, que el proceso rehabilitador debe restaurar antes de la vuelta a la competición del deportista lesionado. Numerosos estudios han sido publicados en este sentido[12-16;19;24;36;42]. En una reciente revisión sistemática de la literatura, repasando los criterios de vuelta al deporte tras lesión del LCA, Barber-Westin et al [13], ponían de manifiesto que tan sólo el 13% de las publicaciones revisadas, incluían algún tipo de cuantificación objetiva de alguna variable relativa a la fuerza o al rendimiento funcional. Además también resaltaban la ausencia de consenso acerca del criterio más apropiado que el atleta lesionado debiera seguir y superar para una vuelta a la competición segura.

A pesar de eso, uno de los mecanismos más reproducibles y baratos para medir tanto la fuerza como el rendimiento neuromuscular tras la lesión del LCA, son los test de salto funcionales (FPT). En una revisión sistemática de la literatura, Narducci et al [15] analizaron la utilidad clínica de estos test funcionales al año de la reconstrucción del LCA. Los autores revelaron que el 42% de los trabajos revisados utilizaban los FPT como medidas de resultado mientras que el 58% de los trabajos lo hacían para medir la función. No encontraron ningún trabajo en donde se utilizaran los FPT, como criterio para la vuelta al deporte. Los autores concluyeron que existe una laguna en la literatura científica acerca de la correcta utilización de los FPT. Sin embargo, Myer et al [14], sí incluyeron los FPT en su propuesta de algoritmo de rehabilitación de lesiones de LCA, como criterio para progresar a lo largo del proceso rehabilitador y progresiva vuelta al deporte. Diversos estudios recientes, han propuesto los test de salto unilaterales para una mejor determinación de la asimetría entre extremidades en comparación con diferentes test de agilidad bilaterales [24].

Un hallazgo único del presente trabajo de investigación, es que a través de la medición de variables de salto horizontal y vertical, es posible identificar déficits funcionales en atletas profesionales de balonmano de ambos sexos, en activo, al mismo nivel, y tras 6 años de media del episodio lesivo original. En opinión del autor, es importante tener en cuenta la relevancia clínica de este hallazgo por el escaso coste económico y de tiempo que supone esta técnica. Es necesaria más investigación para intentar esclarecer la existencia de una correlación entre las variables biomecánicas, físicas y neuromusculares actuantes durante el proceso recuperador de la lesión del LCA.

Una limitación potencial del presente trabajo, puede hallarse en el hecho de no haber controlado el proceso rehabilitador de los deportistas lesionados debido a característica transversal del diseño del estudio. Un estudio similar en donde se controlara la rehabilitación de los pacientes, mejoraría la potencia y fiabilidad de los resultados de este trabajo. Es igualmente posible, que la variabilidad en el tiempo transcurrido entre la fecha de realización del estudio y la lesión original, así como la imposibilidad de captación de mayor número de sujetos por las características tan especiales de los mismos en referencia a su alto nivel (equipos profesionales, de la máxima categoría nacional e internacional en alguno casos) supongan una limitación del presente estudio.

En resumen, los deportistas previamente reconstruidos del LCA, independientemente del sexo, parece que conviven con déficits funcionales tras la vuelta a la competición, suponiendo este factor un riesgo para la recaída de la misma. Desde que Hewett et al [29] propusieran la excursión del valgo y la magnitud de la fuerza del mismo como predictor fiable de la lesión del LCA, numerosas investigaciones han revelado la efectividad de la implantación de programas de prevención basados en el

entrenamiento neuromuscular en la reducción de la incidencia de las lesiones sin contacto del LCA [35;37;43-45]. La identificación de los ya desarrollados patrones de movimiento facilitadores de la lesión del LCA, así como la implantación de entrenamientos de prevención basados en la evidencia científica, se perfilan como una importante herramienta para la reducción del número de lesiones de LCA en el deporte.

Por ultimo es importante destacar la necesidad de realizar posteriores trabajos de investigación con el objetivo de desarrollar algoritmos de rehabilitación que guíen de manera objetiva al paciente a lo largo de su proceso recuperador a la vuelta al nivel de actividad previo a la lesión.

BIBLIOGRAFÍA

1. Vlak T, Pivalica D. Handball: the beauty or the beast. *Croat Med J* 2004; 45(5):526-530.
2. Gorostiaga EM, Izquierdo M, Iturralde P, Ruesta M, Ibanez J. Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999; 80(5):485-493.
3. Gorostiaga EM, Granados C, Ibanez J, Gonzalez-Badillo JJ, Izquierdo M. Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Med Sci Sports Exerc* 2006; 38(2):357-366.
4. Granados C, Izquierdo M, Ibanez J, Bonnabau H, Gorostiaga EM. Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur female handball players. *Int J Sports Med* 2007; 28(10):860-867.
5. Walden M, Hagglund M, Werner J, Ekstrand J. The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011; 19(1):3-10.
6. Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy* 2007; 23(12):1320-1325.
7. Seil R, Rupp S, Tempelhof S, Kohn D. Sports injuries in team handball. A one-year prospective study of sixteen men's senior teams of a superior nonprofessional level. *Am J Sports Med* 1998; 26(5):681-687.
8. Myklebust G, Holm I, Maehlum S, Engebretsen L, Bahr R. Clinical, functional, and radiologic outcome in team handball players 6 to 11 years after anterior cruciate ligament injury: a follow-up study. *Am J Sports Med* 2003; 31(6):981-989.
9. Zebis MK, Andersen LL, Bencke J, Kjaer M, Aagaard P. Identification of athletes at future risk of anterior cruciate ligament ruptures by neuromuscular screening. *Am J Sports Med* 2009; 37(10):1967-1973.
10. Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Holme I, Bahr R. Relationship between floor type and risk of ACL injury in team handball. *Scand J Med Sci Sports* 2003; 13(5):299-304.
11. Kaplan Y. Identifying individuals with an anterior cruciate ligament-deficient knee as copers and noncopers: a narrative literature review. *J Orthop Sports Phys Ther* 2011; 41(10):758-766.
12. Kessler MA, Behrend H, Henz S, Stutz G, Rukavina A, Kuster MS. Function, osteoarthritis and activity after ACL-rupture: 11 years follow-up results of

- conservative versus reconstructive treatment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008; 16(5):442-448.
13. 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(3):100-110.
 14. Myer GD, Paterno MV, Ford KR, Quatman CE, Hewett TE. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: criteria-based progression through the return-to-sport phase. *J Orthop Sports Phys Ther* 2006; 36(6):385-402.
 15. Narducci E, Waltz A, Gorski K, Leppla L, Donaldson M. The clinical utility of functional performance tests within one-year post-acl reconstruction: a systematic review. *Int J Sports Phys Ther* 2011; 6(4):333-342.
 16. Shaw T, McEvoy M, McClelland J. An Australian survey of in-patient protocols for quadriceps exercises following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sci Med Sport* 2002; 5(4):291-296.
 17. Paterno MV, Ford KR, Myer GD, Heyl R, Hewett TE. Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin J Sport Med* 2007; 17(4):258-262.
 18. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Hewett TE. Effects of sex on compensatory landing strategies upon return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 2011; 41(8):553-559.
 19. G Myklebust RB. Return to play guidelines after anterior cruciate ligament surgery. *Br J Sports Med* 2005; 39:127-131.
 20. Grindem H, Logerstedt D, Eitzen I, Moksnes H, Axe MJ, Snyder-Mackler L et al. Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function in nonoperatively treated individuals with anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 2011; 39(11):2347-2354.
 21. Gorostiaga EM, Navarro-Amezqueta I, Cusso R, Hellsten Y, Calbet JA, Guerrero M et al. Anaerobic energy expenditure and mechanical efficiency during exhaustive leg press exercise. *PLoS One* 2010; 5(10):e13486.
 22. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983; 50(2):273-282.
 23. Noyes FR, Barber SD, Mangine RE. Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med* 1991; 19(5):513-518.
 24. Myer GD, Schmitt LC, Brent JL, Ford KR, Barber Foss KD, Scherer BJ et al. Utilization of modified NFL combine testing to identify functional deficits in

- athletes following ACL reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 2011; 41(6):377-387.
25. Mohammadi F, Salavati M, Akhbari B, Mazaheri M, Khorrami M, Negahban H. Static and dynamic postural control in competitive athletes after anterior cruciate ligament reconstruction and controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011.
 26. Katayama M. Proprioception and performance after anterior cruciate ligament rupture. 2004.
 27. Gokeler A, Hof AL, Arnold MP, Dijkstra PU, Postema K, Otten E. Abnormal landing strategies after ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20(1):e12-e19.
 28. Ageberg E, Friden T. Normalized motor function but impaired sensory function after unilateral non-reconstructed ACL injury: patients compared with uninjured controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008; 16(5):449-456.
 29. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Jr., Colosimo AJ, McLean SG et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med* 2005; 33(4):492-501.
 30. Glatthorn JF, Gouge S, Nussbaumer S, Stauffacher S, Impellizzeri FM, Maffiuletti NA. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res* 2011; 25(2):556-560.
 31. Ernst GP, Saliba E, Diduch DR, Hurwitz SR, Ball DW. Lower extremity compensations following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther* 2000; 80(3):251-260.
 32. Decker MJ, Torry MR, Noonan TJ, Riviere A, Sterett WI. Landing adaptations after ACL reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34(9):1408-1413.
 33. Hurley MV. The effects of joint damage on muscle function, proprioception and rehabilitation. *Man Ther* 1997; 2(1):11-17.
 34. Fahrer H, Rentsch HU, Gerber NJ, Beyeler C, Hess CW, Grunig B. Knee effusion and reflex inhibition of the quadriceps. A bar to effective retraining. *J Bone Joint Surg Br* 1988; 70(4):635-638.
 35. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lazaro-Haro C et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: a review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009; 17(8):859-879.
 36. Salmon L, Russell V, Musgrove T, Pinczewski L, Refshauge K. Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2005; 21(8):948-957.

37. Jae Ho Yoo B, LHMHSWLSJOYSLJGK. A meta-analysis of the effect of neuromuscular training on the prevention of the anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Knee surgery sports traumatology arthroscopy* 2012; 18(6):824-830.
38. Zech A, Hubscher M, Vogt L, Banzer W, Hansel F, Pfeifer K. Neuromuscular training for rehabilitation of sports injuries: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41(10):1831-1841.
39. Blackburn JT, Padua DA. Sagittal-plane trunk position, landing forces, and quadriceps electromyographic activity. *J Athl Train* 2009; 44(2):174-179.
40. Ortiz A, Olson S, Libby CL, Trudelle-Jackson E, Kwon YH, Etnyre B et al. Landing mechanics between noninjured women and women with anterior cruciate ligament reconstruction during 2 jump tasks. *Am J Sports Med* 2008; 36(1):149-157.
41. Hartigan EH, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Time line for noncopers to pass return-to-sports criteria after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 2010; 40(3):141-154.
42. Risberg MA, Holm I. The long-term effect of 2 postoperative rehabilitation programs after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled clinical trial with 2 years of follow-up. *Am J Sports Med* 2009; 37(10):1958-1966.
43. Noyes FR, Barber-Westin SD, Fleckenstein C, Walsh C, West J. The drop-jump screening test: difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes. *Am J Sports Med* 2005; 33(2):197-207.
44. Myer GD, Chu DA, Brent JL, Hewett TE. Trunk and hip control neuromuscular training for the prevention of knee joint injury. *Clin Sports Med* 2008; 27(3):425-48, ix.
45. Chappell JD, Creighton RA, Giuliani C, Yu B, Garrett WE. Kinematics and electromyography of landing preparation in vertical stop-jump: risks for noncontact anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 2007; 35(2):235-241.

**DIFERENCIAS EN EL RENDIMIENTO EN
EL SALTO ENTRE JUGADOR@S DE
BALONMANO DE ÉLITE CON O SIN
RECONSTRUCCIÓN PREVIA DEL
LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR DE
LA RODILLA (LCA)**



A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Igor Setuain', is located below the logo. The signature is stylized and includes a circled number '12' at the end.

Igor Setuain

Centro de Estudios Investigación de Medicina del Deporte .Alumno del master en investigación en ciencias de la salud de la Universidad Pública de Navarra (UPNA). Junio de 2012

Director: Dr. Mikel Izquierdo. Departamento de Ciencias de la Salud. Universidad Pública de Navarra.

AGRADECIMIENTOS

El autor del presente trabajo desearía agradecer al Centro de Estudios, Investigación de Medicina del deporte (CEIMD), y al departamento de ciencias de la salud de la Universidad Pública de Navarra (UPNA) por el soporte en cuanto a instrumentalización prestado. Asimismo, desearía agradecer la colaboración de todos los entrenadores, médicos, preparadores físicos, fisioterapeutas y deportistas por su colaboración y disponibilidad para llevar a cabo el presente trabajo. Por último agradecer al Dr Mikel Izquierdo por la dirección y consejo para la realización del presente trabajo

ÍNDICE

Resumen.....	4
Introducción.....	5
Materiales y métodos	8
Resultados.....	13
Discusión	17
Bibliografía.....	26

RESUMEN

El balonmano es considerado uno de los deportes más exigentes para la articulación de la rodilla, donde la incidencia lesión del LCA es relativamente alta en comparación con otras disciplinas deportivas. No resulta infrecuente la convivencia con déficits de fuerza y control neuromuscular en atletas que han sufrido la lesión del LCA. La medición de variables relativas al rendimiento en el salto podría resultar de gran ayuda durante el proceso rehabilitador para garantizar una óptima vuelta a la competición y ayudar a minimizar los dramáticos y costosos episodios de recaída que asocia esta lesión en jugadores de balonmano de élite.

OBJETIVO e HIPOTESIS: Examinar las diferencias entre los atletas previamente lesionados del LCA y atletas sanos de control, en la ejecución de una batería de saltos verticales y horizontales, analizando variables de estudio del salto como el tiempo de contacto, tiempo de vuelo potencia mecánica y distancia alcanzada. La hipótesis del estudio sostiene que los atletas previamente lesionados del LCA, mostrarán déficits en relación a las variables sometidas a estudio a pesar de haber completado su proceso recuperador y estar totalmente integrados en la vuelta a la competición.

MATERIALES Y MÉTODOS: 13 Hombres y 20 mujeres jugadores de balonmano de élite (6 previamente lesionados y reconstruidos del LCA y 7 atletas sanos de control en el grupo de los hombres y 6 previamente lesionadas y reconstruidas del LCA y 14 atletas sanas de control en el grupo de las mujeres respectivamente) fueron evaluados utilizando una batería de saltos validada previamente que incluye el drop jump bilateral, el drop jump unilateral, salto contramovimiento unilateral, el triple salto de longitud y el triple salto cruzado de longitud. Durante la ejecución de dicha batería se registraron la altura (m), el tiempo de vuelo time (s), el tiempo de contacto (s), la potencia mecánica desarrollada ($W \cdot kg^{-1}$) y la distancia alcanzada (m). Para los saltos unilaterales, la comparación se realizó entre la pierna lesionada y la pierna dominante de los controles sanos. Para los saltos bilaterales, en cambio la comparación se realizó entre los sujetos lesionados y los sanos. Para el tratamiento estadístico de los datos, se calcularon las medias y desviaciones estándar de cada variable en cada grupo, analizando los resultados de cada sexo por separado. La comparación de los resultados obtenidos en cada grupo se realizará mediante la prueba T-test para muestras independientes. El programa estadístico utilizado será el SPSS v16.0 (Chicago, IL).

RESULTADOS: Las atletas previamente lesionadas del LCA, demostraron menor tiempo de contacto en el drop jump bilateral (0,393 vs 0,541 s; $P < 0.001$) así como una menor distancia alcanzada en el triple salto de longitud (0,382 vs 0,435 m; $P < 0.05$) con respecto al grupo atletas sanas de control. Los atletas previamente lesionados del LCA, demostraron menor potencia mecánica desarrollada en el drop jump unilateral (11,06 vs. 17,43 $W \cdot kg^{-1}$; $P < 0.05$) en la extremidad afectada con respecto al grupo de control. No se encontraron diferencias significativas en el resto de variables sometidas a estudio.

CONCLUSION: Los jugadores con antecedente de lesión del LCA, podrían arrastrar secuelas funcionales aún después de haber vuelto a la competición, aumentando de esta manera el riesgo de recaída. El reestablecimiento de la simetría entre la extremidad sana y la lesionada, podría ayudar a reducir el riesgo de recaída de la lesión del LCA en jugadores de balonmano de élite.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años, el balonmano ha experimentado un incremento considerable tanto en el número de practicantes, como ha sucedido en otras muchas disciplinas consecuencia de la socialización del deporte, así como un desarrollo importante sobre todo en las más altas esferas de la competición en lo referente a sus demandas físicas y tácticas [1]. El juego a nivel profesional, se ha convertido en un deporte muy exigente a nivel físico, obligando a los jugadores a poseer envidiables condiciones tanto físicas como técnicas y mentales tanto en jugadores masculinos como femeninos [1-4]. Se ha demostrado que los factores de fuerza, potencia muscular y velocidad de lanzamiento, son los más determinantes a la hora de mejorar el rendimiento en las ligas de balonmano de élite [1-4].

Aunque actualmente hay un gran cantidad de referencias bibliográficas que sitúa a las mujeres entre 4 y 7 veces más expuestas a la lesión del LCA que los hombres antes las mismas actividades, la incidencia de esta lesión en el género masculino no es infrecuente [5;6]. Seil et al [7], determinaron una incidencia de la esta lesión de 0.6 por 1000 horas de entrenamiento, y 14.3 por 1000 horas de competición en una cohorte de 186 jugadores de balonmano recreacionales. Los autores publicaron que las lesiones de extremidad inferior en balonmano, suponían el 54% del total, siendo la rodilla la articulación más expuesta, seguida de las inter-falángicas de la mano, hombro y tobillo. En este contexto, resulta de gran interés destacar, la abultada diferencia en la incidencia de lesiones registrada en situaciones de entrenamiento y competición, probablemente debida a la intensidad de las acciones y el deseo de victoria presente en situaciones de competición.

Debido a las necesidades de cambio repentino de movimiento, manejo de acciones no planeadas, junto con las características intrínsecas del balonmano, las lesiones a nivel de la articulación de la rodilla son comunes en los practicantes de este deporte [1;8;9]. Olsen et al [10], propusieron el “denominado colapso en valgo” durante las acciones de recepción tras salto y finta, como el mecanismo más frecuente de lesión del LCA de la rodilla.

En la actualidad, el tratamiento por defecto de esta lesión contempla la reconstrucción quirúrgica del ligamento, con la utilización principalmente de plastias de los tendones de la plata de ganso o rotuliano [8]. Sin embargo, existe un cuerpo de evidencia en desarrollo que argumenta que algunos individuos, en torno al 30% podrían tener la posibilidad de compensar la inestabilidad articular provocada por la ausencia del ligamento, sin la necesidad de someterse al tratamiento quirúrgico [11]. Tanto las técnicas quirúrgicas como las de rehabilitación, han soportado un importante desarrollo en los últimos años, pero a pesar de ello, todavía persisten ciertas lagunas acerca de la información exacta del número de atletas que retoman satisfactoriamente el nivel de actividad anterior a la lesión del LCA. Myklebust et al [8], examinaron los resultados a nivel radiológico, clínico y funcional de 86 jugadores profesionales de balonmano de ambos sexos que habían sufrido la lesión del LCA. Los autores reportaron que el 58% de los deportistas reconstruidos y el 82% de los no reconstruidos fueron capaces de volver a su nivel de actividad previo a la lesión. A la hora de interpretar estos resultados, hay que tener en cuenta que el grupo de reconstruidos incluye a atletas de buen y mal pronóstico inicial, mientras que los no reconstruidos, no lo fueron, fundamentalmente debido a que habrían sido calificados como compensadores de la lesión sin necesidad de reconstrucción.

Daniel et al (1994) reportaron un 50% éxito en la vuelta a la competición en deportes como el baloncesto, fútbol, tenis, esquí tras sufrir la lesión del LCA tanto en deportistas reconstruidos como en deportistas tratados de manera conservadora. Recientemente, Kessler et al [12], compararon los resultados de ambos tratamientos en una cohorte de 136 atletas recreacionales tras 11 años de promedio de haber sufrido la lesión de LCA. Los autores mostraron una mayor riesgo de desarrollo de artrosis en el grupo de los tratados mediante cirugía mientras que los resultados que comparaban la funcionalidad entre grupos no mostraron diferencias significativas. En este sentido, debería tenerse en cuenta que el mayor riesgo de desarrollo de artrosis en el grupo asociado a la reparación quirúrgica de la lesión, estaría muy influenciado por las menisectomías paralelas realizadas en el momento de la intervención, no sólo por la lesión del LCA en sí misma. Los presentes resultados deben analizarse con cautela, debido a la posibilidad de la existencia de sesgos intra-estudio por la naturaleza de los diferentes diseños de los trabajos y la heterogeneidad de la muestra analizada, al tratarse de deportistas de diferentes disciplinas y niveles de competición. Muchas de las dificultades intrínsecas en la rehabilitación de un deportista con lesión de LCA a su nivel de actividad previo a la lesión, se hallan en la falta de estandarización de los criterios a seguir a lo largo del proceso recuperador [13-16].

Un régimen de rehabilitación incompleto o deficiente tras la lesión del LCA, incrementaría tanto el riesgo de recaída de la extremidad afecta, como el de lesión del LCA de la rodilla contralateral. La identificación de los déficits a nivel biomecánico, funcional y neuromuscular es antoja crucial para la prevención de la recaída de la lesión del LCA [14;17-19] .Por lo tanto el objetivo del presente trabajo es el de examinar las diferencias en los patrones de movimiento, a través de la medición del rendimiento en el salto en jugadores profesionales de ambos sexos de balonmano de élite en el momento

de su temporada de la competición. La hipótesis del estudio sugiere que los jugadores con antecedente previo y posterior reconstrucción de la lesión del LCA, presentaran déficits en las variables sometidas a estudio con respecto a aquellos jugadores del mismo sexo y nivel de actividad que no han sufrido dicha lesión, a pesar de haber pasado años tras la lesión original y estar compitiendo al mismo nivel que antes de haber sufrido la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

Para la realización del presente trabajo, se llevo a cabo un estudio transversal, con el objetivo de identificar las posibles diferencias a nivel del rendimiento en el salto y el patrón de movimiento, en jugadores profesionales de balonmano de ambos sexos, mientras se hallaban encuadrados en su temporada de competición

La población sometida a estudio, consistió en 33 jugadores, 20 mujeres y 13 hombres. Se encontraron 7 sujetos con lesión de LCA en cada grupo. El promedio y desviación estándar del tiempo transcurrido desde la reconstrucción quirúrgica fue de $6 \pm 3,51$ años en las mujeres y de $6,33 \pm 3.44$ años en los hombres.

Las características físicas de ambos sexos se muestran en las tablas 1 y 2 respectivamente. Se definió la pierna dominante como la preferida por los sujetos para batir en el salto, lo que resultó en 14 piernas dominantes izquierdas y 7 dominantes derechas en el grupo de las mujeres y 12 piernas dominantes izquierdas y dos derechas en el grupo de los hombres.

Todos los equipos se encontraban en el momento de la realización del estudio en la máxima categoría nacional y dos de ellos competían también en competición internacional en dicha temporada. El reclutamiento se realizó mediante entrevista

personal con el entrenador de cada equipo. Los antecedentes de lesión se registraron vía cuestionario directo al jugador en el momento de la realización de la sesión de test y fueron contrastados con los registros de lesiones del equipo médico de cada club.

Procedimiento de test

Los sujetos fueron evaluados mediante la utilización de una batería de saltos previamente validada para la detección de anomalías funcionales en atletas lesionados del LCA de la rodilla (Noyes et al 1991), que incluye la realización de saltos verticales (Drop jump bilateral VBDJ, drop jump unilateral VUDJ, salto contramovimiento VUCMJ) y horizontales (triple salto de longitud unilateral HTHD y triple salto cruzado de longitud unilateral HCHD). Estudios previos han corroborado la fiabilidad de este procedimiento [18;20]. Durante la ejecución del mismo, se registraron las variables de estudio; el tiempo de vuelo (s), tiempo de contacto (s), la potencia mecánica ($W \cdot kg^{-1}$) mediante utilización de una plataforma de contacto (Sportjump system PRO, DSD, Spain), en el caso de los saltos verticales, así como la distancia alcanzada (m), en los saltos horizontales. Para la comparación de resultados entre grupos, en los saltos unilaterales, se analizaron los datos obtenidos por las extremidades lesionadas del grupo con antecedente previo de lesión de LCA y las piernas dominantes del grupo de control.

Además se calculó también el índice de simetría entre extremidades, de los sujetos del grupo de lesionados, realizando el cociente entre los valores reportados por la pierna reconstruida entre los obtenidos por con la extremidad sana.

$$\frac{\text{Reconstructed limb}}{\text{Contralateral healthy limb}} \times 100$$

En el Drop jump bilateral debido a la utilización de una sola plataforma de contactos, la comparación se realizó analizando los valores obtenidos entre sujetos,

registrando los valores obtenidos en cada salto en el grupo de sanos y en el grupo de los lesionados respectivamente.

Todos los participantes realizaron la batería de test dentro de una sesión de entrenamiento rutinaria. No se facilitó a los sujetos ninguna explicación previa acerca de la ejecución correcta de la técnica de la maniobra, para evitar alterar la ejecución de la misma. Los sujetos fueron animados a realizar los altos a la máxima intensidad posible, intentando alcanzar la máxima altura en cada acción.

Los jugadores realizaron dos repeticiones de calentamiento y familiarización antes de realizar las repeticiones que resultarían registradas. Con el objetivo de reducir la variabilidad en las medidas obtenidas, durante la realización de los saltos del procedimiento de test, los sujetos debían mantener las dos manos a nivel de las crestas ilíacas y no modificar esa posición durante toda la maniobra.

Tanto los jugadores como los entrenadores fueron informados en detalle del procedimiento experimental y de los posibles riesgos y beneficios del proyecto, que fue aprobado por el comité revisión del Instituto Navarro de Deporte y Actividad Física, y llevado a cabo de acuerdo con la declaración de Helsinki.

A continuación se describen uno por uno los diferentes tipos de acciones de salto, englobados dentro de la batería de test empleada en el presente trabajo:

Vertical bilateral Drop Jump:

Para la realización del VBDJ, el paciente se colocó sobre un banco situado a 50 cm del suelo. Posteriormente, se le indicaba que debía dejarse caer del mismo, recepcionando con ambas piernas, para inmediatamente después saltar nuevamente lo más alto posible aterrizando dentro de los márgenes de la plataforma de saltos (Sportjump system PRO, DSD, Spain), colocada justo a continuación del banco. Se

registraron dos repeticiones intercaladas con 10 segundos de descanso. La repetición en donde mayor altura de vuelo se había logrado, fue utilizada para el análisis estadístico.

Vertical unilateral Drop Jump:

Para la realización del VBDJ, el paciente fue colocado sobre un banco situado a 20 cm del suelo. Posteriormente, se le indicaba que debía dejarse caer del mismo, recepcionando con una pierna, para inmediatamente después saltar nuevamente lo más alto posible aterrizando dentro de los márgenes de la plataforma de saltos (Sportjump system PRO, DSD, Spain) colocada justo a continuación del banco, con la misma pierna con la que había recepcionado la caída desde el banco. Se realizaron dos repeticiones de familiarización, Posteriormente, se registraron dos repeticiones intercaladas con 10 segundos de descanso. La repetición en donde mayor altura de vuelo se había logrado, fue utilizada para el análisis estadístico [21;22].

Salto contramovimiento unilateral:

Para la realización del salto vertical con una pierna, el sujeto se colocaba en apoyo monopodal, con las manos en la cintura, dentro de los límites de la plataforma de saltos (Sportjump system PRO, DSD, Spain). Desde esa posición del deportista debía realizar un salto lo más alto posible y volver a caer a una pierna dentro de los límites de la plataforma. . Se realizaron dos repeticiones de familiarización, Posteriormente, se registraron dos repeticiones intercaladas con 10 segundos de descanso. La repetición en donde mayor altura de vuelo se había logrado, fue utilizada para el análisis estadístico [21;22].

Triple salto de longitud unilateral:

La realización del UTH se efectuó tal como previamente fue validado por Noyes et al [23]. Los participantes, se colocaban en apoyo monopodal, con las manos en la cintura, para realizar tres saltos consecutivos de longitud con el objetivo de alcanzar la

máxima longitud posible. Los deportistas debían ser capaces de mantener el equilibrio al menos un segundo en la última recepción. Tras dos ejecuciones de calentamiento y familiarización, los sujetos realizaron dos ejecuciones con cada extremidad, con un descanso de diez segundos entre las mismas, registrando aquella donde mayor distancia horizontal se había alcanzado (m) de cada extremidad para el posterior análisis estadístico.

Triple salto cruzado de longitud unilateral

La realización del HCHD se efectuó bajo las bases previamente establecidas por Noyes et al [23]. Los participantes se colocaban en apoyo monopodal, con las manos en la cintura, para realizar tres saltos consecutivos con una pierna a lado y lado de una línea de 15 cm de ancho que no podían pisar. Los sujetos realizaron dos repeticiones de calentamiento y familiarización para posteriormente realizar dos ejecuciones con cada pierna de test, con un descanso de 10 segundos entre ambas, registrando la repetición con mayor distancia alcanzada, para el posterior análisis de datos.

Los Coeficientes de correlación intraclase para las variables antropométricas y de salto fueron mayores de 0.95, y los coeficientes de variación se hallaban comprendidos entre 0,94 y el 1,5 %.

Análisis estadístico:

Para el cálculo de las medias y la desviación estándar, se emplearon métodos estadísticos estándar. Las mediadas obtenidas de las variables sometidas a estudio en el presente trabajo, fueron examinadas para verificar la distribución normal de los datos mediante la utilización del test de Kolmogorov- Smirnov.

Para la comparación de las medias de los datos de cada variable registrada en cada salto en cada grupo, se realizó un t- test de muestras pareadas. El nivel de

significancia fue fijado en $P \leq 0.05$. Todo el análisis estadístico fue realizado mediante la utilización del programa estadístico SPSS v14 (SPSS, Chicago, IL).

RESULTADOS

Las características antropométricas y de salto de mujeres y hombres quedan resumidas en las tablas 1 y 2 respectivamente.

En el grupo de las mujeres, los tiempos de contacto en el Drop Jump Bilateral, demostraron ser significativamente ($P < 0.05$) menores en las deportistas del grupo de lesionadas del LCA 451.44 ± 182.61 vs 301.29 ± 107.45 ms (figura 1). Asimismo, este grupo de jugadoras, alcanzaron menos distancia en el triple salto de longitud unilateral con respecto al grupo de jugadoras sanas de control 382.0 ± 54.61 vs 442.86 ± 44.7 cm; $P < 0.05$ (figura 2).

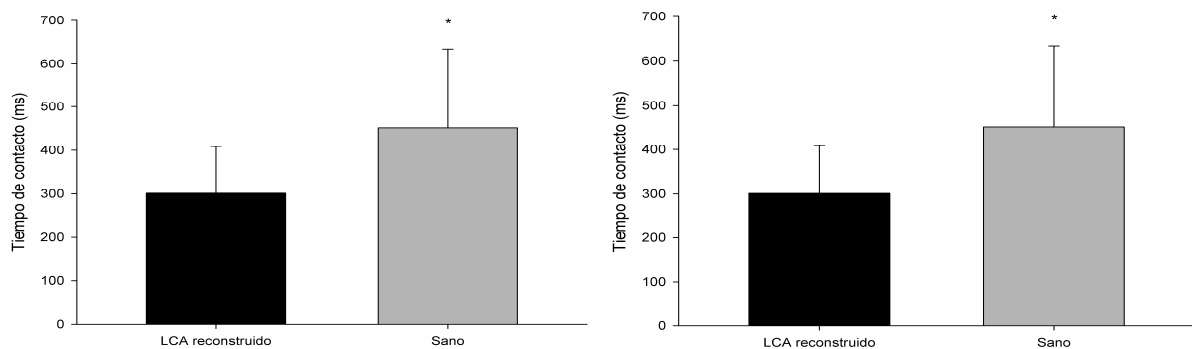


Fig 1 y 2 . Drop jump blilateral y tripe salto de longitud en mujeres con o sin lesión LCA

TABLA 1. Datos descriptivos de las variables demográficas y de salto en las atletas femeninas

		Todas las participantes	Controles	LCA reconstruido	T-test. P Value*
Edad (años)		23.4 ± 4.6	25.2 ± 5.1	26.4 ± 4.0	ns
Peso (Kg)		67.3 ± 7.1	70.2 ± 6.9	61.8 ± 3.9	<0.05
Altura (cm)		173.4 ± 6.1	175.8 ± 5.8	169.0 ± 4.4	<0.05
Bilateral Drop Jump	Tiempo vuelo (ms)	471.2 ± 34.4	481.7 ± 28.0	451.7 ± 151.1	<0.05
	Tiempo contacto	401.1 ± 168.0	428.7 ± 180.6	349.4 ± 151.1	ns
	Producción potencia mecánica (W·Kg ⁻¹)	26.8 ± 4.2	27.3 ± 3.4	25.9 ± 5.8	ns
Unilateral Drop Jump	Tiempo vuelo (ms)	336.6 ± 34.4	340.0 ± 29.8	330.3 ± 45.2	ns
	Tiempo contacto	378.1 ± 162.0	388.8 ± 166.1	357.9 ± 174.3	ns
	Producción potencia mecánica (W·Kg ⁻¹)	9.4 ± 5.4	9.0 ± 5.2	9.9 ± 6.6	ns
Unilateral Counter Movement Jump	Tiempo de vuelo (ms)	335.6 ± 32.5	344.1 ± 25.2	320.6 ± 41.7	ns
Unilateral Tripe Hop for Distance	Distancia (cm)	420.7 ± 54.6	442.9 ± 44.7	382.0 ± 54.6	<0.05
Cross Over Hop for Distance	Distancia (cm)	312.9 ± 50.8	326.1 ± 44.8	289.6 ± 58.2	ns
Índice simetría extremidades inferiores (LSI)	%			103.9 ± 10.9	
Abreviaturas: Kgs. kilogramos; cm. centímetros; ms. milisegundos; W·kg ⁻¹ . Wátios·kilogramo ⁻¹ . Denota diferencias significativas entre grupos. LSI solamente calculado en las atletas previamente reconstruidas.					

Respecto al grupo de los hombres, los deportistas previamente lesionados del LCA demostraron desarrollar menor potencia mecánica en el Drop Jump Unilateral con

respecto a los jugadores sanos del grupo de control $19.17 \pm 4,71$ vs 12.33 ± 4.0 $W \cdot kg^{-1}$, ($P < 0.05$) respectivamente (figura 3).

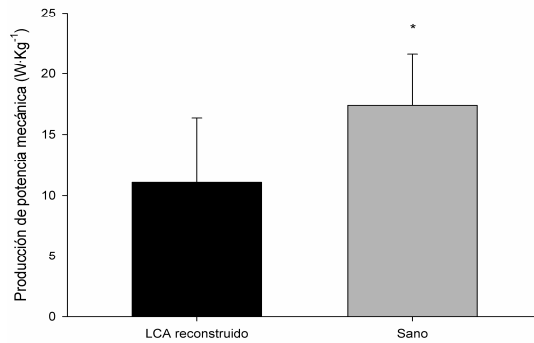


Fig 1 y 2 . Drop jump unilateral en hombres con o sin lesión LCA

En el análisis de los índices de simetría entre extremidades inferiores en el grupo de los lesionados expresado como la media de todos los índices de simetría reportados por todos los sujetos en cada salto de la batería de test, no se encontraron diferencias clínicamente relevantes (por encima del 15% de déficit de una extremidad respecto a la contralateral) en el grupo de las mujeres ($103.86 \pm 10,83\%$), ni en el de los hombres ($97.4 \pm 2.57\%$) previamente reconstruidos de la lesión del LCA (tablas 1 y 2).

No se encontraron diferencias significativas en el resto de las variables sometidas a estudio, entre los deportistas sanos y aquellos previamente reconstruidos del LCA, independientemente del sexo (tablas 1 y 2)

TABLA 2. Datos descriptivos de las variables demográficas y de salto en las atletas masculinos

		Todos los participantes			Controles			LCA reconstruido			T-test. P Value*
Edad (años)		25.7	±	4.1	24.0	±	4.3	27.7	±	3.1	ns
Peso (Kg)		92.7	±	9.7	93.3	±	11.3	92.1	±	8.5	ns
Altura (cm)		189.1	±	6.0	189.8	±	6.5	188.3	±	5.7	ns
Bilateral Drop Jump	Tiempo vuelo (ms)	548.3	±	42.1	554.1	±	31.3	541.5	±	54.4	ns
	Tiempo contacto	290.9	±	68.3	260.4	±	34.9	326.4	±	83.2	ns
	Producción potencia mecánica (W·Kg ⁻¹)	29.7	±	4.9	28.8	±	4.6	30.7	±	5.4	ns
Unilateral Drop Jump	Tiempo vuelo (ms)	421.2	±	48.5	436.9	±	55.5	402.9	±	34.7	ns
	Tiempo contacto	296.4	±	120.4	243.9	±	31.3	357.57	±	158.92	ns
	Producción potencia mecánica (W·Kg ⁻¹)	16.0	±	5.5	19.2	±	4.7	12.3	±	4.0	<0.05
Unilateral Counter Movement Jump	Tiempo de vuelo (ms)	407.6	±	39.9	422.9	±	35.2	389.9	±	40.4	ns
Unilateral Tripe Hop for Distance	Distancia (cm)	531.7	±	78.0	524.3	±	59.4	540.3	±	101.1	ns
Cross Over Hop for Distance	Distancia (cm)	441.9	±	86.1	440.0	±	96.53	444.0	±	81.27	ns
Índice simetría extremidades inferiores (LSI)	%							97.4	±	2.6	
Abreviaturas: Kgs. kilogramos; cm. centímetros; ms. milisegundos; W·kg ⁻¹ . Watios-kilogramo ⁻¹ . Denota diferencias significativas entre grupos. LSI solamente calculado en las atletas previamente reconstruidas.											

DISCUSIÓN

El objetivo del presente trabajo fue examinar las posibles diferencias en el rendimiento y patrón del salto entre una muestra de jugadores de balonmano de élite profesionales, comparando los atletas lesionados y reconstruidos de la lesión del LCA con los jugadores sanos del mismo sexo, nivel de competición y deporte.

El principal hallazgo del presente trabajo, se centra en la identificación de déficits en el rendimiento en el salto en aquellos jugadores previamente lesionados del LCA, tras una media de seis años de la lesión inicial, a pesar de haber vuelto a la competición y llevar años al mismo nivel de actividad que antes de sufrir la rotura del LCA. En el grupo de las mujeres, las deportistas previamente lesionadas, mostraron menores valores de tiempo de contacto en el Vertical Drop jump unilateral, y menor distancia alcanzada en el triple salto de longitud unilateral, con respecto a las jugadoras sanas del grupo de control. En el grupo de los hombres, aquellos jugadores previamente lesionados del LCA, demostraron desarrollar menor potencia mecánica en el Drop Jump Vertical Bilateral en su pierna previamente reconstruida en comparación con los jugadores sanos del grupo de control.

Los resultados experimentales sostienen la hipótesis del estudio, basada en la persistencia de déficits funcionales en los deportistas previamente lesionados del LCA, a pesar de haber transcurrido años desde la lesión original. Estos déficits afectarían tanto a hombres como a mujeres, profesionales de balonmano de élite, y deberían ser identificados y controlados con el objetivo de garantizar un óptimo retorno a los terrenos de juego tras esta grave lesión.

Estudios previos, ya habían reportado déficits funcionales en deportistas tras la reconstrucción del LCA [18;24-28]. Sin embargo bajo el conocimiento del autor, el presente, es el primer estudio en identificar déficits funcionales en deportistas profesionales de balonmano de ambos sexos lesionados anteriormente del LCA, utilizando una batería de test valida , reproducible en el mismo lugar de entrenamiento convencional de los equipos, y de bajo coste.

De acuerdo con estos resultados, Mycklebust et al [8], encontraron resultados similares en jugadores de balonmano de alto nivel de ambos sexos que fueron seguidos entre 6 y 11 años desde su lesión de LCA. Los autores reportaron una funcionalidad de la articulación de la rodilla comprometida en la mitad de los sujetos que fueran tratados quirúrgicamente, o no, de la lesión de LCA, en relación a test de salto, hallazgos radiológicos de desgaste articular, mediciones de fuerza y cuestionarios de valoración subjetiva de la función de la rodilla.

Los autores concluyeron, que la recomendación médica acerca de la idoneidad de la vuelta a la práctica deportiva de un deporte de riesgo para la salud de la articulación de la rodilla, debería ser restringida si la función de la rodilla a largo plazo es el objetivo prioritario. De igual manera, los autores reconocían la dificultad en discriminar si los déficits mostrados en el estudio eran atribuibles a la lesión original o al desgaste articular derivado de mantener durante los años siguientes a la lesión la exposición repetida a maniobras de riesgo para la integridad de la articulación de la rodilla, derivado de la propia práctica del deporte de balonmano de alto nivel.

La naturaleza multifactorial del mecanismo lesional y la alteración de la función subsecuente a la lesión del LCA, parecen dos mecanismos explicativos del descenso en el rendimiento que parece presente en los deportistas previamente lesionados de este ligamento. De acuerdo con estudios previos [18;24-28], los resultados del presente

trabajo sugieren que variables fácilmente obtenibles con la utilización de una plataforma de contacto (tiempo de vuelo, de contacto y potencia mecánica durante el salto), y de una cinta métrica (distancia alcanzada en un salto horizontal), pueden tener un gran potencial de acción clínico para detectar déficits funcionales en jugadores profesionales de balonmano independientemente del sexo, previamente lesionados del LCA. Un resultado hallazgo del presente trabajo, es la persistencia de déficits en el salto a pesar de haber vuelto al máximo nivel de competición y llevar años entrenando de manera continuada.

En este sentido, estudios previos han demostrado alteraciones biomecánicas y funcionales tanto antes como después de la lesión del LCA. Hewett et al [29], identificaron dos parámetros, potencialmente válidos para la predicción de la lesión del LCA en una cohorte de 205 atletas femeninas de carácter recreacional. Las atletas que prospectivamente sufrirían una lesión de LCA, demostraron mayores valores de fuerza de reacción del suelo pico (PGRF) (20%) y tiempos de contacto menores (16%) durante la ejecución de un Drop Jump Vertical Bilateral, en comparación con las atletas que no se lesionaron en el tiempo de vigilancia que duró el estudio. Zebis et al [9], realizaron un estudio de electromiografía durante acciones específicas en jugadoras profesionales de balonmano, y un seguimiento posterior de la incidencia de lesiones del LCA a lo largo de dos temporadas de esa cohorte de jugadoras. Los autores encontraron niveles inferiores de preactivación en el músculo semitendinoso y superiores del vasto lateral, en las jugadoras que prospectivamente, resultarían lesionadas del LCA, comparado con las que no sufrieron este tipo de lesión. Mohammadi et al [25], publicaron en un estudio sobre 30 jugadores de fútbol y baloncesto 8 meses tras la reconstrucción del ligamento, que el barrido del centro de masas durante una estabilometría unipodal en la pierna lesionada y la fuerza de reacción del suelo vertical (VGRF) de la pierna sana,

permanecían aumentadas en los sujetos lesionados con respecto al grupo de control. Este último hallazgo ha sido ampliamente reportado en la bibliografía [17;18].

De acuerdo con los resultados obtenidos por el presente trabajo de investigación, el hecho de que el índice de simetría entre extremidades no alcanzara valores de relevancia clínica [14], podría atender al menos parcialmente, al hecho de la posible existencia de una alteración en la gestión de las fuerzas actuantes a nivel de la articulación de la rodilla, no sólo en la pierna lesionada sino en la contralateral [17;18], donde como estrategia de protección de la pierna lesionada, el propio cuerpo podría adoptar la medida de absorber más fuerza con la pierna sana, aumentando de esta manera el riesgo de lesión de la pierna contralateral, no lesionada.

Por lo tanto, las alteraciones tanto en el rendimiento en el salto como en la biomecánica del mismo, encontradas en sujetos previamente lesionados del LCA, podrían explicarse por adaptaciones de origen neuromuscular en relación a la forma en que la musculatura involucrada en la correcta gestión del movimiento es activada, y la manera en la que las fuerzas externas actuantes en estas situaciones son soportadas. En ese sentido, Glatthorn et al [30], , encontraron una alteración en la actividad electromiográfica del músculo vasto lateral asociada a la debilidad del cuádriceps en una muestra de 14 sujetos 6 meses después de una meniscectomía parcial por artroscopia. Los autores concluyeron que la debilidad del cuádriceps encontrada, podría ser explicada por un fallo de activación neural inhibiendo dicha musculatura de poder realizar un esfuerzo muscular máximo. Otros estudios han sostenido esta hipótesis acerca de la debilidad en el cuádriceps originada por una inhibición de tipo neural [31;32]. En esta misma línea, Hurley [33], analizó en una revisión de la literatura, los efectos del daño articular en la función muscular, la propiocepción y la rehabilitación. El autor argumentó que tras un daño articular de origen traumático o degenerativo, se produce una inhibición

en la activación del músculo cuádriceps, y que la magnitud de dicha reducción, parece relacionada con el daño articular producido originalmente. Este mecanismo de inhibición neural, podría ser explicado bien por una reducción del umbral de excitación de la motoneurona gamma, afectando la apreciación y control del movimiento, o por su parte por una alteración en el umbral de excitación de la motoneurona alfa, causando un fallo en la activación del músculo cuádriceps. Además, otros autores, han encontrado una ganancia del 13% de fuerza tras reabsorber una inflamación artificial en la articulación de la rodilla, y un 8 % de ganancia adicional tras anestesia [34]. Parece por lo tanto, que tanto los mecanorreceptores articulares como otros mediadores de la señal del dolor (terminaciones nerviosas libres en la cápsula articular), podría estar envueltos en el fenómeno de inhibición de la activación del cuádriceps femoral, reportado tras lesión articular grave en la articulación de la rodilla. Sin embargo, se debe enfatizar que se trata de modelos de justificación que deben ser validados en ensayos bien diseñados para determinar su fiabilidad.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo relativos a la persistencia de déficits funcionales en sujetos previamente reconstruidos de la lesión del LCA, años después de la misma y tras volver al máximo nivel de competición, constituye un factor de riesgo palpable de recaída de la lesión original [35]. Revisando el estado del conocimiento actual referente al mecanismo lesional de la lesión del LCA y la multifactorialidad de los factores de riesgo involucrados, parece razonable hablar de la existencia de la denominada “adaptación neuromuscular” a nivel de la articulación de la rodilla tras lesión del LCA [11;36;37]. La manera en que el sistema nervioso central se encuentra afectado tras la lesión original y los subniveles en donde estas hipotéticas adaptaciones tendrían lugar, quedan todavía por ser esclarecidas, pero existe cada vez

más evidencia mostrando la existencia de patrones de adaptación del movimiento en sujetos previamente lesionados del LCA [11;25;26;35;37-39]

De manera similar Ortiz et al [40], encontraron mayores momentos de fuerza internos de extensión y valgo y diferencias electromiográficas significativas en mujeres reconstruidas del LCA, y un grupo de control del mismo sexo. Dichos autores, concluyeron que las mujeres reconstruidas, revelaron mayores ratios de co-contracción entre los músculos cuádriceps e isquiotibial, probablemente en un intento de atenuar las fuerzas de cizalla antero- posterior actuantes a nivel de la articulación de la rodilla y que suponen un riesgo evidente para la integridad del LCA. De manera similar , Gokeler et al [27] encontraron tiempos de activación más tempranos y una reducción en la excursión angular, en sujetos previamente reconstruidos del LCA, en la realización de un salto de distancia unilateral. Además, los autores observaron un balanceo anterior de la pierna contralateral, propuesto como una estrategia de atenuación de la fuerza de reacción del suelo vertical (VGRF) y el momento interno de extensión. Los resultados del presente trabajo, podrían ser superpuestos a la posible existencia de una modificación en el patrón de movimiento en sujetos previamente lesionados del LCA, propiciando al atleta la adopción de una estrategia inconsciente, y función limitante, en un intento por evitar la recaída su lesión.

Por otro lado, la proporción de atletas que vuelven al mismo nivel de actividad previo a la lesión del LCA, no se encuentra muy recogido en la literatura, a pesar del potencial del tiempo de baja de esta lesión. Hartigan et al [41], publicaron que entre el 43 y el 92 % vuelven al nivel de competición previo a la lesión del LCA. En la práctica clínica, es frecuentemente responsabilidad del fisioterapeuta determinar cuando un paciente es capaz de tolerar las demandas físicas de las actividades de la vida diaria, y la posterior participación en el deporte, así como programar las estrategias de prevención

para evitar lesiones en el futuro [13;15;16;19;42]. En ese sentido, el criterio de vuelta al deporte tras la lesión del LCA, debería recoger todas las consideraciones biomecánicas, de fuerza y de control neuromuscular, que el proceso rehabilitador debe restaurar antes de la vuelta a la competición del deportista lesionado. Numerosos estudios han sido publicados en este sentido[12-16;19;24;36;42]. En una reciente revisión sistemática de la literatura, repasando los criterios de vuelta al deporte tras lesión del LCA, Barber-Westin et al [13], ponían de manifiesto que tan sólo el 13% de las publicaciones revisadas, incluían algún tipo de cuantificación objetiva de alguna variable relativa a la fuerza o al rendimiento funcional. Además también resaltaban la ausencia de consenso acerca del criterio más apropiado que el atleta lesionado debiera seguir y superar para una vuelta a la competición segura.

A pesar de eso, uno de los mecanismos más reproducibles y baratos para medir tanto la fuerza como el rendimiento neuromuscular tras la lesión del LCA, son los test de salto funcionales (FPT). En una revisión sistemática de la literatura, Narducci et al [15] analizaron la utilidad clínica de estos test funcionales al año de la reconstrucción del LCA. Los autores revelaron que el 42% de los trabajos revisados utilizaban los FPT como medidas de resultado mientras que el 58% de los trabajos lo hacían para medir la función. No encontraron ningún trabajo en donde se utilizaran los FPT, como criterio para la vuelta al deporte. Los autores concluyeron que existe una laguna en la literatura científica acerca de la correcta utilización de los FPT. Sin embargo, Myer et al [14], sí incluyeron los FPT en su propuesta de algoritmo de rehabilitación de lesiones de LCA, como criterio para progresar a lo largo del proceso rehabilitador y progresiva vuelta al deporte. Diversos estudios recientes, han propuesto los test de salto unilaterales para una mejor determinación de la asimetría entre extremidades en comparación con diferentes test de agilidad bilaterales [24].

Un hallazgo único del presente trabajo de investigación, es que a través de la medición de variables de salto horizontal y vertical, es posible identificar déficits funcionales en atletas profesionales de balonmano de ambos sexos, en activo, al mismo nivel, y tras 6 años de media del episodio lesivo original. En opinión del autor, es importante tener en cuenta la relevancia clínica de este hallazgo por el escaso coste económico y de tiempo que supone esta técnica. Es necesaria más investigación para intentar esclarecer la existencia de una correlación entre las variables biomecánicas, físicas y neuromusculares actuantes durante el proceso recuperador de la lesión del LCA.

Una limitación potencial del presente trabajo, puede hallarse en el hecho de no haber controlado el proceso rehabilitador de los deportistas lesionados debido a característica transversal del diseño del estudio. Un estudio similar en donde se controlara la rehabilitación de los pacientes, mejoraría la potencia y fiabilidad de los resultados de este trabajo. Es igualmente posible, que la variabilidad en el tiempo transcurrido entre la fecha de realización del estudio y la lesión original, así como la imposibilidad de captación de mayor número de sujetos por las características tan especiales de los mismos en referencia a su alto nivel (equipos profesionales, de la máxima categoría nacional e internacional en alguno casos) supongan una limitación del presente estudio.

En resumen, los deportistas previamente reconstruidos del LCA, independientemente del sexo, parece que conviven con déficits funcionales tras la vuelta a la competición, suponiendo este factor un riesgo para la recaída de la misma. Desde que Hewett et al [29] propusieran la excursión del valgo y la magnitud de la fuerza del mismo como predictor fiable de la lesión del LCA, numerosas investigaciones han revelado la efectividad de la implantación de programas de prevención basados en el

entrenamiento neuromuscular en la reducción de la incidencia de las lesiones sin contacto del LCA [35;37;43-45]. La identificación de los ya desarrollados patrones de movimiento facilitadores de la lesión del LCA, así como la implantación de entrenamientos de prevención basados en la evidencia científica, se perfilan como una importante herramienta para la reducción del número de lesiones de LCA en el deporte.

Por ultimo es importante destacar la necesidad de realizar posteriores trabajos de investigación con el objetivo de desarrollar algoritmos de rehabilitación que guíen de manera objetiva al paciente a lo largo de su proceso recuperador a la vuelta al nivel de actividad previo a la lesión.

BIBLIOGRAFÍA

1. Vlak T, Pivalica D. Handball: the beauty or the beast. *Croat Med J* 2004; 45(5):526-530.
2. Gorostiaga EM, Izquierdo M, Iturralde P, Ruesta M, Ibanez J. Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999; 80(5):485-493.
3. Gorostiaga EM, Granados C, Ibanez J, Gonzalez-Badillo JJ, Izquierdo M. Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Med Sci Sports Exerc* 2006; 38(2):357-366.
4. Granados C, Izquierdo M, Ibanez J, Bonnabau H, Gorostiaga EM. Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur female handball players. *Int J Sports Med* 2007; 28(10):860-867.
5. Walden M, Hagglund M, Werner J, Ekstrand J. The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011; 19(1):3-10.
6. Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy* 2007; 23(12):1320-1325.
7. Seil R, Rupp S, Tempelhof S, Kohn D. Sports injuries in team handball. A one-year prospective study of sixteen men's senior teams of a superior nonprofessional level. *Am J Sports Med* 1998; 26(5):681-687.
8. Myklebust G, Holm I, Maehlum S, Engebretsen L, Bahr R. Clinical, functional, and radiologic outcome in team handball players 6 to 11 years after anterior cruciate ligament injury: a follow-up study. *Am J Sports Med* 2003; 31(6):981-989.
9. Zebis MK, Andersen LL, Bencke J, Kjaer M, Aagaard P. Identification of athletes at future risk of anterior cruciate ligament ruptures by neuromuscular screening. *Am J Sports Med* 2009; 37(10):1967-1973.
10. Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Holme I, Bahr R. Relationship between floor type and risk of ACL injury in team handball. *Scand J Med Sci Sports* 2003; 13(5):299-304.
11. Kaplan Y. Identifying individuals with an anterior cruciate ligament-deficient knee as copers and noncopers: a narrative literature review. *J Orthop Sports Phys Ther* 2011; 41(10):758-766.
12. Kessler MA, Behrend H, Henz S, Stutz G, Rukavina A, Kuster MS. Function, osteoarthritis and activity after ACL-rupture: 11 years follow-up results of

- conservative versus reconstructive treatment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008; 16(5):442-448.
13. 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(3):100-110.
 14. Myer GD, Paterno MV, Ford KR, Quatman CE, Hewett TE. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: criteria-based progression through the return-to-sport phase. *J Orthop Sports Phys Ther* 2006; 36(6):385-402.
 15. Narducci E, Waltz A, Gorski K, Leppla L, Donaldson M. The clinical utility of functional performance tests within one-year post-acl reconstruction: a systematic review. *Int J Sports Phys Ther* 2011; 6(4):333-342.
 16. Shaw T, McEvoy M, McClelland J. An Australian survey of in-patient protocols for quadriceps exercises following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sci Med Sport* 2002; 5(4):291-296.
 17. Paterno MV, Ford KR, Myer GD, Heyl R, Hewett TE. Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin J Sport Med* 2007; 17(4):258-262.
 18. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Hewett TE. Effects of sex on compensatory landing strategies upon return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 2011; 41(8):553-559.
 19. G Myklebust RB. Return to play guidelines after anterior cruciate ligament surgery. *Br J Sports Med* 2005; 39:127-131.
 20. Grindem H, Logerstedt D, Eitzen I, Moksnes H, Axe MJ, Snyder-Mackler L et al. Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function in nonoperatively treated individuals with anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 2011; 39(11):2347-2354.
 21. Gorostiaga EM, Navarro-Amezqueta I, Cusso R, Hellsten Y, Calbet JA, Guerrero M et al. Anaerobic energy expenditure and mechanical efficiency during exhaustive leg press exercise. *PLoS One* 2010; 5(10):e13486.
 22. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983; 50(2):273-282.
 23. Noyes FR, Barber SD, Mangine RE. Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med* 1991; 19(5):513-518.
 24. Myer GD, Schmitt LC, Brent JL, Ford KR, Barber Foss KD, Scherer BJ et al. Utilization of modified NFL combine testing to identify functional deficits in

- athletes following ACL reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 2011; 41(6):377-387.
25. Mohammadi F, Salavati M, Akhbari B, Mazaheri M, Khorrami M, Negahban H. Static and dynamic postural control in competitive athletes after anterior cruciate ligament reconstruction and controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011.
 26. Katayama M. Proprioception and performance after anterior cruciate ligament rupture. 2004.
 27. Gokeler A, Hof AL, Arnold MP, Dijkstra PU, Postema K, Otten E. Abnormal landing strategies after ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20(1):e12-e19.
 28. Ageberg E, Friden T. Normalized motor function but impaired sensory function after unilateral non-reconstructed ACL injury: patients compared with uninjured controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008; 16(5):449-456.
 29. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Jr., Colosimo AJ, McLean SG et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med* 2005; 33(4):492-501.
 30. Glatthorn JF, Gouge S, Nussbaumer S, Stauffacher S, Impellizzeri FM, Maffiuletti NA. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res* 2011; 25(2):556-560.
 31. Ernst GP, Saliba E, Diduch DR, Hurwitz SR, Ball DW. Lower extremity compensations following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther* 2000; 80(3):251-260.
 32. Decker MJ, Torry MR, Noonan TJ, Riviere A, Sterett WI. Landing adaptations after ACL reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34(9):1408-1413.
 33. Hurley MV. The effects of joint damage on muscle function, proprioception and rehabilitation. *Man Ther* 1997; 2(1):11-17.
 34. Fahrer H, Rentsch HU, Gerber NJ, Beyeler C, Hess CW, Grunig B. Knee effusion and reflex inhibition of the quadriceps. A bar to effective retraining. *J Bone Joint Surg Br* 1988; 70(4):635-638.
 35. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lazaro-Haro C et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: a review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009; 17(8):859-879.
 36. Salmon L, Russell V, Musgrove T, Pinczewski L, Refshauge K. Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2005; 21(8):948-957.

37. Jae Ho Yoo B, LHMHSWLSJOYSLJGK. A meta-analysis of the effect of neuromuscular training on the prevention of the anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Knee surgery sports traumatology arthroscopy* 2012; 18(6):824-830.
38. Zech A, Hubscher M, Vogt L, Banzer W, Hansel F, Pfeifer K. Neuromuscular training for rehabilitation of sports injuries: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41(10):1831-1841.
39. Blackburn JT, Padua DA. Sagittal-plane trunk position, landing forces, and quadriceps electromyographic activity. *J Athl Train* 2009; 44(2):174-179.
40. Ortiz A, Olson S, Libby CL, Trudelle-Jackson E, Kwon YH, Etnyre B et al. Landing mechanics between noninjured women and women with anterior cruciate ligament reconstruction during 2 jump tasks. *Am J Sports Med* 2008; 36(1):149-157.
41. Hartigan EH, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Time line for noncopers to pass return-to-sports criteria after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 2010; 40(3):141-154.
42. Risberg MA, Holm I. The long-term effect of 2 postoperative rehabilitation programs after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled clinical trial with 2 years of follow-up. *Am J Sports Med* 2009; 37(10):1958-1966.
43. Noyes FR, Barber-Westin SD, Fleckenstein C, Walsh C, West J. The drop-jump screening test: difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes. *Am J Sports Med* 2005; 33(2):197-207.
44. Myer GD, Chu DA, Brent JL, Hewett TE. Trunk and hip control neuromuscular training for the prevention of knee joint injury. *Clin Sports Med* 2008; 27(3):425-48, ix.
45. Chappell JD, Creighton RA, Giuliani C, Yu B, Garrett WE. Kinematics and electromyography of landing preparation in vertical stop-jump: risks for noncontact anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 2007; 35(2):235-241.