Article

# Mejora del Rendimiento Funcional y Potencia Muscular entre el 4to y 6to Mes Luego de una Reconstrucción del Ligamento Cruzado Anterior

Sabrine Souissi[1,6], Del P. Wong[2], Alexandre Dellal[1,3,7], Jean-Louis Croisier[4], Zied Ellouze[5] y Karim Chamari[1,6]

[1]*Tunisian Research Laboratory ''Sport Performance Optimisation' - National Centre of Medicine and Science in Sport(CNMSS). El Menzah, Tunisia.*
[2]*Department of Health and Physical Education, The Hong Kong Institute of Education, Hong Kong.*
[3]*Olympique Lyonnais FC (soccer).*
[4]*Department of Motricity Sciences. Liège, Belgium.*
[5]*Aspetar-Orthopeadic and Sports Medicine Hospital, Doha, Qatar, 6 ISSEP, Ksar-Saïd. University of Manouba, Tunisia.*
[6]*Santy Orthopedicae Clinical, Sport Science and Research Department. Lyon, France.*

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue examinar los efectos de un programa de 8 semanas de reentrenamiento, con 2 o 3 sesiones de entrenamiento por semana, en la medida del rendimiento funcional y potencia muscular en deportistas con reconstrucción del ligamento cruzado anterior (RLCA). Dieciséis atletas varones fueron aleatoriamente asignados a 2 grupos luego de RLCA: grupo de entrenamiento funcional (FTG, n=8) que realizo 2 entrenamientos intensos por semana (4 hrs/semana), y al grupo control (CG, n=8) que realizo 3 sesiones de entrenamiento por semana de moderada intensidad (6 hrs/semana). Los dos grupos fueron evaluados a los 4 y 6 meses post-RLCA y los efectos del reentrenamiento fueron medidos usando las siguientes evaluaciones: test funcionales y test de potencia muscular, y el test "T" de agilidad. Luego del reentrenamiento, el grupo FTG mejoro más que el CG en la pierna operada, en el test de salto a una pierna (+34.64% vs +10.92%; efecto grande); en el test de salto quíntuple (+8.87% vs +5.03%; efecto moderado), y en el test de salto triple a una pierna (+32.15% vs +16.05%, efecto moderado). En el test de agilidad T-test, el FTG tuvo una mejora significativa comparada con el grupo control (+17.26% vs +13.03%, efecto moderado). En los test de potencia bilateral, no se encontraron diferencias significativas entre los 2 grupos en el squat jump (SJ), el counter mouvement jump (CMJ) y CMJ con brazos libres (arm CMJ). Por el otro lado, el CMJ a una pierna mostró un incremento significativo en el FTG con respecto al GC ($p<0.05$) en valores comparativos entre la pierna lesionada vs la pierna no lesionada. El presente estudio introduce una nueva modalidad de rehabilitación luego de la reconstrucción de LCA que resulta en una buena recuperación de la pierna operada así como de la pierna contralateral. Esta podría permitir a los atletas alcanzar buenos rendimientos funcionales y de potencia muscular, con solo 2 sesiones de entrenamiento por semana, así como alcanzar una mejor preparación para el retorno a la actividad a los 6 meses post-RLCA y eventualmente economizar tiempo para una posible introducción de entrenamiento progresivo de la técnica deportiva especifica.

**Palabras Clave:** Reconstrucción del ligamento cruzado anterior, lesión de rodilla, reentrenamiento, agilidad, evaluación de la fuerza, evaluación de la potencia

# INTRODUCCIÓN

La ruptura del ligamento cruzado anterior (LCA) es una lesión seria de rodilla, producida en atletas durante sus actividades deportivas y recreacionales. El riesgo de lesión de LCA es significativamente mayor en individuos durante movimientos de pívot y cambios de dirección (Dyey y col., 1998). Los deportistas suelen encontrar dificultadas para retornar a la función completa luego de lesionarse el LCA, y frecuentemente la cirugía es llevada a cabo para restablecer la estabilidad articular. Sin embargo, se ha sugerido que, luego de la cirugía la habilidad para realizar actividades funcionales y de estabilidad podría estar disminuida (Noyes y col., 1991), y se han reportados déficit en los procesos musculares y sensoriales luego de la cirugía reconstructiva (Ben Moussa y col., 2008; Legnani y col., 2010).

Es en este contexto, que los objetivos principales luego de la reconstrucción de LCA (RLCA) son restablecer el rango normal de movimiento, la estabilidad de la rodilla, la fuerza muscular y el control neuromuscular, siendo todos aspectos importantes que contribuyen al rendimiento funcional normal (Tegner y col., 1986). Estos objetivos han de ser conseguidos sin poner en peligro la cicatrización de la plástica, así como la prevención de desarrollo de osteoartritis (OA). La mayoría de los estudios reportaron efectos positivos en la disminución de la incidencia de lesiones de LCA con programas de entrenamiento neuromuscular (Myer y col., 2005; Nyland y col., 2010) o un incremento de la fuerza y la función en sujetos sanos especialmente mujeres (Chimera y col., 2004; Williams y col., 2001). Sin embargo, según nuestro conocimiento, no han sido estudiados los efectos de programas de entrenamientos aplicados en las fases finales de la rehabilitación de LCA, sobre las mejoras del rendimiento

La rehabilitación luego de una RLCA es comúnmente dividida en 2 fases: (1) temprana (que ocurre inmediatamente luego de la RLCA, principalmente compuesta por entrenamiento de la fuerza sub-máximo) y (2) rehabilitación final (que consiste en la progresión funcional hacia el retorno deportivo).

La rehabilitación estandarizada del LCA se focaliza en un manejo agudo y subagudo mediante protocolos relativamente rigurosos. Estos comprenden la progresión en la descarga de peso, mejoras del ROM y la introducción progresiva de tipos específicos de ejercicios a través de las fases de la rehabilitación (Wilk y col., 2003). A la inversa, la fase final de la rehabilitación es típicamente más general, con mayores categorizaciones globales de los ejercicios y progresiones apropiadas, sin mayores especificaciones sobre cuando es seguro introducir actividades de alta carga sobre la articulación o más demandantes, y también esto se repite con el objetivo que permita al atleta transitar, luego de la RLCA, desde la habilidad de realizar las actividades de la vida diaria a tener la capacidad de realizar actividades deportivas más específicas y demandantes (Kvist, y col., 2004; Wilkerson y col., 2004). Los ejercicios de rehabilitación estandarizados son inicialmente realizados a velocidades bajas, con carga baja a moderada, y a veces en un solo plano de movimiento y con introducción de actividades pliométricas y de agilidad a los 5 y 6 meses, respectivamente (Beynnon y col., 2005; Edson, 2003). En el contexto de la rehabilitación, es fomentado el acelerar el retorno a las actividades atléticas (Myer y col., 2006). En la fase final de la rehabilitación, cuando el atleta podría estar preparado para realizar entrenamiento funcional que lo disponga mejor a la competición deportiva, suele también presentar déficits (en la pierna lesionada o en el balance entre pierna lesionada y pierna no lesionada) que limita su potencial para la integración segura dentro de la competencia completa (Myer y col., 2006). Esta fase se supones que debe ser organizada para ayudar a una transición sistematizada del atleta a través del entrenamiento para el retorno deportivo de una manera eficiente (Myer y col., 2006).

En el contexto del entrenamiento regular con deportistas sanos, la inclusión de ejercicios intensos como pliométricos, entrenamiento de la fuerza de alta intensidad conjuntamente con ejercicios de agilidad, podría conducir a mejorar el rendimiento funcional general sin amenazar la seguridad de la rodilla (Adams y col., 1992; Potteiger y col.,1999; Wrobble and Moxley, 2001).

Muchos estudios han reportado el uso de varias evaluaciones para testear las mejoras funcionales, tales como los hop test (Beynnon y col., 2005; Hamilton y col., 2008; Noyes y col., 1991), test de agilidad (Paule y col., 2000), y test de salto vertical (Lange and Bury, 2002). Estos test son usados también comúnmente en el campo o ámbitos clínicos para valorar los progresos obtenidos con el programa de entrenamiento o para determinar el nivel de recuperación luego de una lesión o cirugía en el miembro inferior, en especial luego de una RLCA. Con respecto a la frecuencia del entrenamiento, los programas de rehabilitación son realizados varias sesiones a la semana. Sin embargo, realizar demasiadas sesiones intensas podría conducir a un over-reaching o a un alto riesgo de lesión o recurrencia (Myer y col., 2006). La experiencia clínica sugiere que un sujeto debería tolerar 2 sesiones de entrenamiento específico sin ningún efecto adverso antes de intensificar el programa de entrenamiento (Adams y col., 1992). En este contexto, realizar ejercicios intensos y pliométricos solo dos veces a la semana permite una suficiente recuperación entre sesiones de trabajo (Adams y col., 1992; Chu, 1995) y esta frecuencia baja de entrenamiento, posiblemente induce a un estímulo efectivo de entrenamiento mejorando los resultados del mismo.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue examinar los efectos de 8 semanas de un programa reentrenamiento

(desde el 4to al 6to mes post RLCA) en medidas de rendimiento funcional y potencia muscular en deportistas con Reconstrucción del Ligamento Cruzado anterior (RLCA). Se hipotetizo que un programa de entrenamiento intenso, implementado solo 2 veces por semana (4hrs/semana), podría resultar en una mejora significativa del rendimiento en el salto horizontal y vertical, la agilidad y la potencia muscular comparado con un programa de rehabilitación estándar con 3 sesiones de entrenamiento por semana (6hrs/semana).

# METODOS

### Sujetos

Fueron reclutados para una intervención postquirúrgica por el departamento ortopédico, veinticuatro atletas varones con lesión unilateral y RLCA, mediante técnica de hueso tendón hueso (tendón patelar), quienes habían jugado previamente en deporte competitivo, incluyendo deportes de contacto y con pivot, en niveles regionales o nacionales (tabla 1).

| Variables | FTG (n=8) | CG (n8) |
|---|---|---|
| Edad (años) | 21.7 (3.0) | 21.5 (4.1) |
| Altura (m) | 1.77 (.09) | 1.80 (7.9) |
| Peso corporal (kg) | 73.4 (7.8) | 75.4 (5.0) |
| Tiempo entre lesión y cirugía(semanas) | 11.6 (7.7) | 12.6 (14.7) |
| Tiempo post-cirugía y rehabilitación (semanas) | 3.1 (1.7) | 2.2 (1.5) |
| Práctica deportiva (futbol americano/otros) | 5/3 | 6/2 |
| Pierna lesionada (izquierda/derecha) | 5/3 | 4/4 |
| Pierna lesionada (izquierda/derecha) | 4/4 | 7/1 |
| Presencia de reparación parcial de meniscos (izquierda/derecha) | 1/7 | 1/7 |

***Tabla 1.*** *Característica de los sujetos a 4 meses postquirúrgicos*

Fueron aplicados criterios de exclusión cuando los sujetos presentaban lesiones adicionales o cirugías previas de las extremidades inferiores (con excepción de la reparación parcial de meniscos) o con presencia de dolor o inflamación a 4 meses post-cirugía. El estudio fue conducido de acuerdo a la Declaración de Helsinki y el protocolo fue completamente aprobado por Comité de Ética en Investigación Clínica del Centro Nacional de Medicina y Ciencias del Deporte antes de comenzar con las valoraciones. Se recibió un consentimiento informado escrito por todos los sujetos luego de una explicación detallada sobre los beneficios, y riesgos involucrados con esta investigación. Los sujetos fueron informados que eran libres de dejar el estudio en cualquier momento sin penalidades. Luego de la aplicación del criterio de exclusión intra-operación, 16 sujetos continuaron con la rehabilitación y regresaron para la examinación de seguimiento. Ningún sujeto experimento contratiempos en su rehabilitación dentro del estudio que causara la salida del mismo. Los sujetos fueron aleatoriamente asignados a dos grupos: grupo de entrenamiento funcional (FTG=8) y grupo control (CG=8). A los 4 meses post-RLCA, no existieron diferencias significativas entre FTG y CG para ninguna de las características observadas en los sujetos (tabla 1).

### Rehabilitación y procedimientos de entrenamiento

#### *Rehabilitación estandarizada post-cirugía*

Todos los sujetos fueron sometidos a un protocolo estándar post RLCA durante los primeros 3 meses, supervisado por el mismo grupo de 6 fisioterapeutas. Durante los primeros tres meses, el entrenamiento incluyo electroestimulación, mejora del rango de movimiento, ejercicios de propiocepción y coordinación, focalizando en el control neuromuscular de la rodilla involucrada. La carrera fue permitida cuando los déficit de fuerza en el cuádriceps medidos por test isocinetico ((Cybex; Cybex Norm (6000, Manufacturer,Ville, USA)) en la rodilla involucrada fue menor de 35% con respecto a la pierna contralateral en lugar de utilizar el criterio de periodo de tiempo fijo de 12 semanas post-quirúrgicas (Davies, 1987; Rochcongar, 2004). El entrenamiento funcional y los ejercicios pliométricos fueron autorizados progresivamente a los 4 meses post-cirugía (16 semanas) luego de que algunos criterios fueran aplicados, tales como: simetría (déficit isocinetico

por encima de 70% del lado contralateral ((Edson y col., 2003; Rochcongar 2004)), habilidad de saltar a una pierna sin dolor, ausencia de derrame o inflamación, y la consecución del rango completo de movimiento evaluado por examen clínico Gerber y col., 2006; Gobbi y col., 2002). Mayores detalles del programa de rehabilitación han sido descriptos en trabajos previos (Cascio y col., 2004; Myer y col., 2006).

***Protocolo de rehabilitación***

Los dos grupos fueron testeados por un fisioterapeuta experimentado, a los 4 y a los 6 meses post-quirúrgicos (pre-test y post-test), quien fue segado para el presente diseño del protocolo de estudio (figura 1).

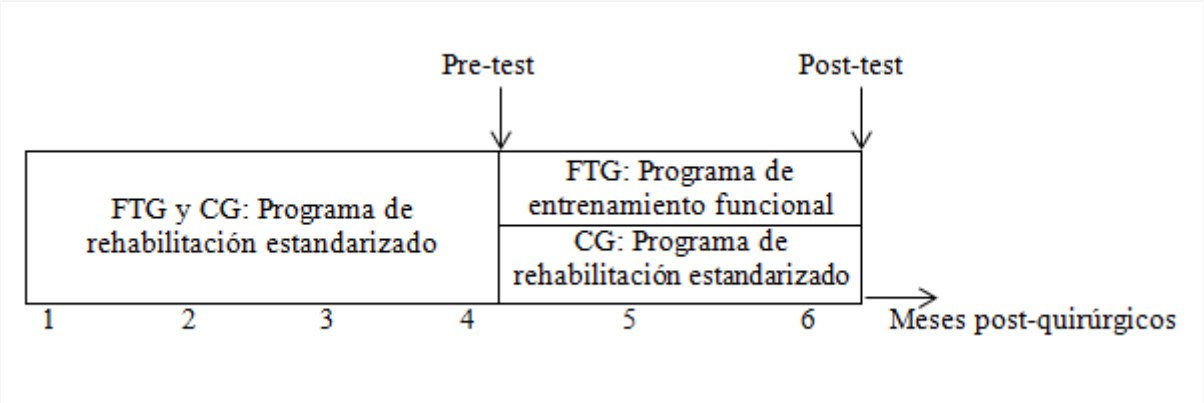



***Figura 1.*** *Lógica del estudio de los sujetos 2 grupos*

El FTG fue supervisado por un entrenador físico y el CG fue supervisado por un fisioterapeuta y los dos grupos estuvieron bajo la supervisión y responsabilidad del médico fisiatra del Centro de Medicina y Ciencia del Deporte y el Ejercicio. El médico fisiatra realizo el seguimiento de la estabilidad articular mediante testeo clínico. Los sujetos con reparación parcial del menisco en cada grupo, no tuvieron dolor o problemas articulares durante la rehabilitación.

El CG no participo en ningún ejercicio realizado por el FTG, pero sus rehabilitaciones fueron monitoreadas por los 6 antes mencionados fisioterapeutas siguiendo el protocolo de rehabilitación estandarizado, es decir 3 sesiones por semana (6hrs/semana) (consistiendo en carrera y fortalecimiento con pocos ejercicios pliométricos, muy pocos ejercicios de cambio de dirección pero ningún salto horizontal ni ejercicios de agilidad) (Tabla 2). El FTG participo 2 veces a la semana en un programa de entrenamiento funcional (4hrs/semana) incluyendo: una variedad de intensidades, ejercicios más agresivo y complejos diseñados para incrementar el control neuromuscular, fuerza y potencia muscular, propiocepción, velocidad y agilidad de miembros inferiores, combinados con entrenamiento aeróbico con carrera (tabla 3). Estos ejercicios fueron progresados gradual y cuidadosamente desde baja a alta intensidad. Para cada ejercicio se introdujo progresivamente más distancia, tiempo, altura o dificultad. A medida que la tolerancia mejoraba el sujeto avanzaba hacia ejercicios más intensos. Fueron completamente monitoreadas la seguridad y eficacia de la incorporación de ejercicios intensos. Estos ejercicios fueron acompañados por retroalimentación verbal para ayudar a los atletas a desarrollar movimientos seguros.

| Semanas | Ejercicios | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Fortalecimiento | Saltos | Velocidad | Propiocepción |
| 1 | Prensa 2 piernas 3*50<br>Curl 1 pierna 3*50<br>Silla de cuádriceps 5*20 | Salto a la valla frontal 2 piernas 1*20 (50cm) | | Estabilidad a pierna lesionada sobre disco inestable 10*15seg. |
| 2 | Prensa 2 piernas 3*50<br>Curl Pierna lesionada 3*50<br>Silla de cuádriceps 7*20 | Salto a la valla frontal 2 piernas 1*20 (50cm) | | Estabilidad a pierna lesionada sobre disco inestable 10*15seg. |
| 3 | Prensa 2 piernas 3*50<br>Curl pierna lesionada 3*50<br>Silla de cuádriceps 5*30 | Salto a la valla frontal pierna NL 1*20, pierna L 1*20 (50cm) | Carrera de velocidad moderada frontal 5*10 mts | Estabilidad a pierna lesionada sobre disco inestable 10*15seg. |
| 4 | Prensa pierna lesionada 3*50<br>Curl pierna lesionada 3*50<br>Silla de cuádriceps 7*30 | Salto a la valla frontal pierna NL 1*20, pierna L 1*20 (50cm) | Carrera de velocidad moderada hacia atrás 5*10 mts | Estabilidad a pierna lesionada sobre disco inestable 10*15seg. |
| 5 | Prensa pierna lesionada 3*50<br>Curl pierna lesionada 3*50<br>Silla de cuádriceps 5*40 | Saltos laterales sobre valla 2 piernas 1*20 (50 cm) | Carrera de velocidad máxima frontal 5*10 mts + giro 180º | Estabilidad a pierna lesionada sobre plataforma rectangular inestable 10*15seg. |
| 6 | Prensa pierna lesionada 3*50<br>Curl pierna lesionada 3*50<br>Silla de cuádriceps 7*40 | Saltos laterales sobre valla 2 piernas 1*20 (50 cm) | Carrera de velocidad máxima hacia atrás 5*10 mts + giro 180º | Estabilidad a pierna lesionada sobre plataforma rectangular inestable 10*15seg. |
| 7 | Prensa pierna lesionada 3*50<br>Curl pierna lesionada 3*50<br>Silla de cuádriceps 5*50 | Salto a la valla laterales pierna NL 1*20, pierna L 1*20 (50cm) | Sprint laterales 5*10 mts. | Estabilidad a pierna lesionada sobre plataforma rectangular inestable 10*15seg. |
| 8 | Prensa pierna lesionada 3*50<br>Curl pierna lesionada 3*50<br>Silla de cuádriceps 7*50 | Salto a la valla laterales pierna NL 1*20, pierna L 1*20 (50cm) | Sprint frontal+ giro 180º+ sprint hacia atrás 5*10 | Estabilidad a pierna lesionada sobre plataforma rectangular inestable 10*15seg. |

***Tabla 2.*** *Protocolo de entrenamiento para el grupo control (CG). Sumar 5kg en Prensa y 2kg en curl y silla de cuádriceps cada 2 semanas. La carga depende de la capacidad individual: Prensa (entre 80-100 kg para 2 piernas, 40-50kg para 1 pierna). Curl + silla de cuádriceps (entre 40-50kg).*

Los elementos de este programa fueron reportados previamente en la literatura (Hewett y col., 1996). El entrenamiento fue realizado bajo supervisión directa de un entrenador físico guiando a cada sujeto en cómo realizar cada ejercicio.

| Semanas | Ejercicios | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Aeróbico | Saltos/ hops | Velocidad/aguilidad | Propiocepción |
| 1 | 2*10′(60-70% FCmax)<br>3*10′(60-70% FCmax) | Salto vertical hacia adelante dos piernas (3*10)<br>Salto vertical hacia adelante dos piernas (3*10) | | |
| 2 | 1*20′(70-75% FCmax)<br>1*25′(70-75% FCmax) | Salto vertical hacia adelante dos piernas + hop hacia atrás (3*10)<br>Salto vertical 1 pierna 3*10 | Carrera frontal moderada intensidad 5*10m<br>Carrera hacia atrás moderada intensidad 3*10m<br>Carrera frontal moderada intensidad 8*10m<br>Carrera hacia atrás moderada intensidad 5*10m | |
| 3 | 1*15′(80% FCmax)<br>2*15′(80% FCmax) | Salto vertical hacia adelante 1pierna + hop hacia atrás (3*10)<br>Saltos laterales a 1 pierna 3*10 | Carrera frontal moderada intensidad 10m<br>+2 hop a una pierna frontales *<br>5<br>Carrera frontal moderada intensidad 10m<br>+2 hop a una pierna posteriores * | Salto con un pierna (der-izq) en minitram + caída en piso a 1 pierna 3*10<br>Saltar la soga con 2 piernas hacia delante y atrás<br>3*10 |
| 4 | 1*12′(80-85% FCmax)<br>2*12′(80-85% FCmax) | Salto vertical hacia adelante 1pierna +giro 180º (5*10)<br>Cuadrado a una pierna *5 | Carrera alta velocidad frontal 10 mts +2 hop 1 pie<br>frontal *5<br>Carrera alta velocidad frontal 10 mts +2 hop 1 pie<br>posterior*5 | Salto a la soga alternado 3*20<br>Salto a la soga avanzando frontal alternado 2-pies 3*20 |
| 5 | 1*6′(85-90% FCmax)<br>2*6′(85-90% FCmax) | Salto a 1 pierna sobre superficie uniforme *5<br>Saltos tijera 3*5 | Carrera alta velocidad en slalom<br>Entre 12conos(separados cada 4 pies)*5<br>Carrera alta velocidad en slalom<br>Entre 12conos(separados cada 5 pies)* 5 | Saltos a 2 pies desde un step (30cm) + aterrizajes a 2 pies *8<br>Salto al step 1-pierna (15cm)3*10<br>Del piso al step |
| 6 | 3*6′(85-90% FCmax)<br>1*4′(90-95% FCmax) | Hop triple a 1pierna *5 | Sprint en slalom en carreras de ir y venir *3<br>Sprint en slalom carreras de ir y venir *5 | Saltos a 2 pies desde un step (40cm) + aterrizajes a 2 pies *8<br>Salto al step 1-pierna (20 cm)5*10<br>Del piso al step |
| 7 | 2*4′(90-95% FCmax)<br>3*4′(90-95% FCmax) | Salto quíntuple comenzando con der. *3<br>Salto quíntuple comenzando con izq. *3 | Sprint en slalom en carreras de ir y venir + salto rodilla al pecho *2<br>Sprint en slalom en carreras de ir y venir + salto rodilla al pecho *3 | Caídas desde un step (30cm) en 1pie *5<br>Salto al step 1-pierna (30 cm)5*10<br>Del piso al step |
| 8 | 4*4′(90-95% FCmax) | Hop triple a 1pierna *5<br>Salto quíntuple comenzando con der. *2<br>Salto quíntuple comenzando con izq. *2 | Carrera en 8 hacia derecha*2<br>Carrera en 8 hacia izquierda*2 | Caídas desde un step (40cm) en 1pie *5 Salto al step 1-pierna (40 cm) 10*5 |

***Tabla 3.*** *Protocolo de entrenamiento del Grupo de entrenamiento Funcional. Para todos los ejercicios a una pierna, el sujeto realiza 2 series menos con la pierna no operada en comparación con la pierna operada. Pausa: 30seg. Entre series y 2 ´ entre ejercicios para*

*los saltos, ejercicios de velocidad y agilidad. En los ejercicios de hops, el sujeto salta tan lejos como sea posible (distancia máxima)*

Cada sesión de entrenamiento comenzó con un calentamiento de 20 min (incluyendo 10 min de estiramientos estáticos activos y ejercicios para las piernas). Los componentes de entrenamiento pliométricos fueron enfatizados progresivamente en, primero doble apoyo (a dos piernas) y luego apoyos simples (a una pierna). No obstante, la pierna no lesionada fue entrenada con menos series que la pierna lesionada. El objetivo fue el de alcanzar el nivel de fuerza pre-lesión en ambos miembros. Los ejercicios pliométricos fueron iniciados cuando el paciente podía tolerarlos sin reacciones adversas (Chmielewski y col., 2006). Los sujetos fueron entrenados en terreno plano y regular, y con calzado adecuado.

**Test funcionales**

Tres test funcionales fueron usados para evaluar la función general del miembro inferior, el hop test a una pierna (SLH), el triple hop test a una pierna (SL3H) y el test de salto quíntuple (5JT). Durante estos test, los sujetos realizaron los primeros intentos con la pierna lesionada, seguidos de la pierna no lesionada. En primero lugar se llevó a cabo el hop test a una pierna modificado (SLH) como fue reportado por Tegner y cols. (1986), permitiendo el uso de los brazos para acelerar el salto. Las distancias alcanzadas en el hop a una pierna son comúnmente expresadas en el índice de simetría entre piernas (Limb Symmetry Index (LSI). Noyes y cols. (1991) consideran como normal un valor en el LSI por encima del 85%. En segunda instancia se realizó el (SL3H) (Hamilton y cols.2008). El SLH y el SL3H fueron realizados 3 veces para cada pierna. Finalmente fue realizado por los sujetos el (5JT) como fue descripto por Chamari y cols. (2008). El (5JT) consiste en 5 zancadas consecutivas comenzando y finalizando con pies juntos. Desde la posición inicial el sujeto tenía que saltar directamente hacia el frente con una pierna y luego realizar las primeras 4 zancadas, es decir realizaba las zancadas alternativamente con pierna izquierda y derecha en dos oportunidades cada pierna, el sujeto tenía que realizar la última zancada y finalizar el test de nuevo con ambos pies simultáneamente. La mejor marca (indicada por la distancia total alcanzada) alcanzada en cada uno de estos tres test fue usada para el análisis. Todos los test fueron separados por un minuto de recuperación. En caso de un intento fallido, o por ejemplo si el sujeto sentía que no había realizado el test apropiadamente, era posible realizar el test nuevamente, pero esto rara vez ocurrió.

**Test de agilidad**

El "T" test de agilidad es un test estándar para la valoración de la agilidad. Como fue descripto por Sporis y cols. (2010), este es usado para determinar la velocidad del cambio de dirección y es compuesto por velocidad lineal, desplazamiento lateral hacia la derecha e izquierda, y carrera hacia atrás (Miller y cols., 2006; Pauole y cols., 2000; Sporis y cols., 2010). El rendimiento en el test "T" de agilidad fue medido por un sistema por fotocélulas electrónicas de medición del tiempo (Brower Timing, USA). Los sujetos realizaron 3 intentos con 2 minutos de pausa entre ellos, y el intento más rápido fue usado para el análisis.

**Test de potencia muscular**

Los sujetos realizaron 4 protocolos de saltos realizados sobre una plataforma de fuerza (Quattrojump, Kistler, Switzerland). El primer protocolo consistió en saltos con ambas piernas desde una posición de semi squat fijo con manos a las cinturas, es decir el squat jump (SJ). El segundo test de salto vertical fue un salto con contra-movimiento también con manos a la cintura (CMJ). Los sujetos fueron animados a reaccionar tan rápido como sea posible sobre la plataforma, y saltar tan alto como sea posible cayendo sobre sus pies. El ultimo test de salto fue CMJ con brazos libres (Arm CMJ) (Chamari y cols., 2008). Luego de estos test, los sujetos fueron evaluados en su capacidad de realizar el salto vertical CMJ a un pie con brazos en la cintura. Cada sujeto estaba parado en u pie sobre la plataforma y saltaba tan alto como fuera posible, cayendo con el mismo pie. Comenzaban con la pierna no lesionada (CMJNI), seguida por la pierna lesionada (CMJI). Fue tomado para el análisis la altura pico. Se les permitió un minuto de recuperación entre saltos y cada tipo de salto fue repetido 3 veces.

**Análisis estadístico**

Fueron calculados la media y el desvió estándar (media±SD) para todos los test. Se usó un análisis de varianza multivariante (MANOVA) para examinar las diferencias en rendimiento con dos factores (GROUP x intervención). Fue utilizado cuando era apropiado un seguimiento de comparación de pares utilizando el método corregido de Bonferroni.

La confiabilidad test-retest de cada evaluación fue determinada mediante el Coeficiente de correlación intra-clase (ICC) con un intervalo de confianza del 95%. Todos los datos fueron inicialmente analizados utilizando Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, Washington). El análisis estadístico fue completado usando SPSS versión 10.0 (SPSS Inc, Chicago, Illinois). El tamaño del efecto (d de Coden) y potencia estadística fueron calculados para determinar las diferencias

practicas entre el FTG y CG. Los valores del tamaño del efecto de 0-0.19, 0.20-0.49, 0.50-0.79, y 0.80 y por encima fueron considerados que representan diferencias triviales, pequeñas, moderadas, y grandes respectivamente (Cohen, 1988). La potencia estadística mayor a 0.84 fue considerada óptima (Muller and Benignus, 1992). El nivel de significancia se estableció a $p \leq 0.05$.

## RESULTADOS

La potencia estadística del presente estudio fue de 0.85. La confiabilidad intraclase (ICC) de los siguientes tests: el test de salto horizonta- testa de hops frontales- (SLH, SL3H, y 5JT), los test de salto vertical (SJ, CMJ, Arm CMJ, CMJI, CMJNI), y el test de agilidad "T" fueron excelentes (tabla 4).

| Datos agrupados (pre-test más post-test, ambos grupos) | ICC (confiabilidad entre sujetos) | | Confiabilidad Intra-sujetos |
|---|---|---|---|
| | ICC | 95% CI | |
| **Hop a una pierna (m)** Pierna lesionada | .98 | .97-.99 | .95 |
| Pierna no lesionada | .98 | .96-.99 | .93 |
| **Hop Triple a una pierna(m)** Pierna lesionada | .99 | .98-.99 | .85 |
| Pierna no lesionada | .99 | .98-.99 | .96 |
| **Test de salto quíntuple (m)** Comenzando con la PL | .97 | .95-98 | .91 |
| Comenzando con la PNL | .99 | .98-99 | .98 |
| **Test T de agilidad (seg.)** | .99 | .98-99 | .96 |
| **Squat jump (SJ)(cm)** | .98 | .97-99 | .95 |
| **Counter movement jump (CMJ)(cm)** | .99 | .98-99 | .96 |
| **CMJ con brazos libres(cm)** | .96 | .93-99 | .89 |
| **CMJI (cm)** | .94 | .90-96 | .82 |
| **CMJNI (cm)** | .93 | .89-96 | .84 |

***Tabla 4.*** *Confiabilidad de los Test utilizados en este estudio*

El grupo de entrenamiento funcional (FTG) mostro mayores mejoras que el CG en el SLH con la pierna lesionada (+34.64% vs. +10.92%, efecto grande, Tabla 5), el 5JT comenzando con la pierna lesionada (+8.87% vs. +5.03%, efecto moderado medio), SL3H con la pierna lesionada (+32.15% vs. +16.05%, efecto moderado). Con respecto a la pierna no lesionada, el FTG tuvo grandes mejoras en el SLH test (+14.27% vs. +3.69%, efecto grande) y en el SL3H (+15.78% vs. +7.55%, efecto moderado) en comparación con el CG.

Los valores obtenidos en los hop a una pierna son expresadas como un índice de simetría entre piernas (limb symmetry index, LSI). De acuerdo con los valores de corte (85%) sugeridos por Noyes y col (1991), solo el 37.5% de los sujetos en el FTG y el 50% de los sujetos en el CG fueron considerados como normales en el pre-test. El LSI se incrementó en 87.5% para ambos grupos en el post-test luego de cada protocolo de entrenamiento. Para el test SL3H, solo el 37.5% de los sujetos en el FTG y 62% en el CG tenían un valor de LSI mayor a 85% en el pre-test. En el post-test, todos los sujetos en ambos grupos presentaron un LSI mayor al 85%.

Con respecto al test "T" de agilidad, existió una diferencia significativa entre FTG y CG luego del entrenamiento (+17.26% vs. 13.03%, $p<0.05$, efecto moderado).

Para las valoraciones de potencia muscular, valoradas por los saltos verticales, el CMJ mostró un incremento significativo del rendimiento en el FTG con respecto al CG (+27.54%vs. 6.54, efecto grande). Las mejoras también fueron observadas en el LSI luego de 8 semanas de entrenamiento. El porcentaje de sujetos con un LSI mayor que 856% se incrementó de 50% a 87.5% en el FTG comparado con el CG quienes presentaron una disminución de 75% a 62.5%.

| Variables | Grupo | Pre-test | Post-test | % de progreso | Tamaño del efecto basado en el % de progreso ( valor/clasificación) |
|---|---|---|---|---|---|
| Hop a una pierna (lesionada) (m) | FTG | 1.45 (.26) | 1.91 (.18) * | 34.64 (24.16) | 1.38 /Large |
| | CG | 1.69 (.12) | 1.77 (.16) | 10.92(10.42) | |
| Hop a una pierna (no lesionada) (m) | FTG | 1.77 (.15) | 2.02 (.11) *† | 14.27 (4.97) | 2.66 /Large |
| | CG | 1.85 (.16) | 1.88 (.11) | 3.69(2.64) | |
| Triple hop a una pierna (lesionada) (m) | FTG | 4.14 (.78) | 5.28 (.40) * | 32.15 (30.57) | .71 /Medium |
| | CG | 4.38 (.48) | 5.04 (.15) * | 16.05(9.54) | |
| Triple hop a una pierna (no lesionada) (m) | FTG | 5.04 (.51) | 5.79 (.34) * | 15.78 (13.24) | 71 /Medium |
| | CG | 5.03 (.57) | 5.39 (.29) | 7.55 (9.70) | |
| Test de salto quíntuple (comenzando con lesionada)(m) | FTG | 10.36(.93) | 11.25 (.83) * | 8.87 (6.14) | 73 /Medium |
| | CG | 10.18(.73) | 10.67 (.57) | 5.03 (4.15) | |
| Test de salto quíntuple (comenzando con no lesionada)(m) | FTG | 10.26(.93) | 11.00 (1.06) | 7.32(4.02) | .43 / Small |
| | CG | 10.07(.83) | 10.60 (.78) | 5.43 (4.74) | |
| Test "T" de agilidad (seg) | FTG | 11.92(.59) | 10.18(.39)*† | 17.26 (7.86) | 52 /Medium |
| | CG | 11.24(.60) | 10.86 (.71) * | 13.03 (8.37) | |
| Squat Jump (SJ) (cm) | FTG | 38.82(5.79) | 43.15 (5.24) | 12.28 (12.91) | 57 /Medium |
| | CG | 38.58(4.77) | 40.8 (4.76) | 6.50 (6.50) | |
| CMJ (cm) | FTG | 41.61(5.99) | 43.57 (4.62) | 6.71 (6.16) | .16 /Trivial |
| | CG | 40.62(4.12) | 42.95 (4.44) | 5.83 (4.98) | |
| Arm CMJ (cm) | FTG | 50.97(5.23) | 52.91 (3.62) | 3.72 (5.37) | .80 /Large |
| | CG | 48.95(5.49) | 49.06 (4.93) | .61 (1.24) | |
| CMJI | FTG | 23.18(4.35) | 28.72(2.12)* | 27.54 (24.55) | 1.11 /Large |
| | CG | 25.31(3.77) | 26.53(3.04) | 6.54 (10.71) | |
| CMJNI | FTG | 27.93(3.85) | 31.18(1.85)*† | 13.34 (12.31) | 1.49 /Large |
| | CG | 28.32(3.18) | 27.97 (3.54) | 33 (.79) | |

***Tabla 5.*** *Rendimiento funcional, de potencia muscular y agilidad desde post-quirúrgico*
** Diferencia significativa ($p < 0.05$)entre 4to al 6to mes.*
*† Diferencia significativa con el grupo Control (CG) ($p < 0.05$).*

## DISCUSION

El presente estudio mostro que desde el 4to al 6to mes post-quirúrgico, el entrenamiento funcional resulto en grandes mejoras significativas en comparación con el programa de rehabilitación tradicional, en lo concerniente a los test funcionales (SLH pierna lesionada, SLH pierna no lesionada y el 5JT con la pierna lesionada), el CMJ a una pierna y el rendimiento en el test "T" de agilidad.

El test SLH es una medida del rendimiento funcional del miembro inferior, permitiendo la valoración de la fuerza y confianza en la pierna evaluada. Esto tiene una relación positiva significativa con la percepción subjetiva del sujeto sobre la función de la rodilla y ha sido diseñado para reflejar las demandas de los niveles más altos de actividad física (Noyes y col 1991). Por lo tanto este Test es una buena medida de la eficiencia del entrenamiento. Luego de una lesión de LCA han sido reportados alcances reducido en la distancia del hop en muchos sujetos (Kvist, 2004; Toumi y col., 2004) y se han evidenciado mejoras luego de varios programas de entrenamiento (Tegner and Lysholm 1985). El presente estudio es consistente con un estudio previo (Tegner and Lysholm 1985) en donde un protocolo de entrenamiento funcional mejoro la distancia en el SLHJ y SJ a una pierna, en ambas piernas. A la inversa, los sujetos en el CG mostraron una permanencia de la función alterada en sus miembros inferiores. Los resultados del presente estudio se hicieron eco de la sugerencia de Nyland y col (1994) de que el entrenamiento funcional podría mejorar la función en la rodilla intervenida quirúrgicamente, en comparación con los protocolos tradicionales de rehabilitación, mediante una mayor y efectiva utilización de las

aferencias neurales y del uso de un concepto de aprendizaje motor más completo.

En el post-test, 87,5% de los sujetos en el grupo FTG tuvieron valores normales de LSI en el test SLH (LSI mayor a 85%), mientras Wilk y col. (2003) encontraron que solo 43% de los sujetos estudiados tuvieron valores de LSI mayores del 85% a los 6.45 meses post-cirugía. En forma similar, DeJong y col. (2007) encontró valores de LSI por debajo del rango seguro en 31% de los sujetos estudiados, a los 9 meses post-cirugía. Otros estudios han mostrados un LSI de 83% a los seis meses post-cirugía (Keays y col. 2000). En el presente estudio, a los seis meses post-cirugía, una gran proporción de los sujetos alcanzaron valores normales seguros para el test de SLH, indicando la eficiencia del programa de entrenamiento funcional propuesto. A pesar de que la diferencia en el rendimiento funcional entre la pierna operada y la no operada, no ha mostrado tener una relación definitiva con la probabilidad de sufrir lesiones durante las actividades deportivas (Wilson et al., 1993), una diferencia de 10% o mayor puede ser considerada reflejo de la diferencia real en la capacidad de rendimiento y un posible factor que incremente el riego de lesión o re-lesión (Sapega, 1990).

Los resultados en el test SL3H mostraron que los dos grupos progresaron significativamente en la pierna lesionada, pero solo el grupo FTG mostro un progreso significativo en la pierna no lesionada. El incremento de la fuerza en la pierna no lesionada podría haber ocurrido como compensación de la perdida de función luego de la lesión y subsecuente reconstrucción quirúrgica, y/o ser una adaptación natural al programa propuesto, que focalizo en ambas piernas. En el CG, las mejoras fueron largamente dependientes de la motivación del sujeto, y el entrenamiento de la pierna no lesionada podría haber sido subestimado en el protocolo de rehabilitación tradicional. La ventaja del uso del test SL3H (y de los test SLH y test de salto) es que cada pierna puede ser evaluada independientemente, por lo que pueden ser identificadas las asimetrías. Para este test, el FTG mostró un mayor porcentaje de sujetos que alcanzaron valores normales comparados con el CG luego de los 2 meses de entrenamiento, lo que confirma la eficiencia del programa de rehabilitación funcional.

Un estudio reciente (Chamari y col., 2008) propuso el test 5JT como una alternativa práctica para estimar la potencia explosiva del miembro inferior para atletas particulares y como medida de la función del ciclo de estiramiento-acortamiento. El test 5JT puede ser considerado como una herramienta confiable, muy útil, y simple que provee información sobre la potencia del paso de los deportistas, que es considerada como una medida crucial en muchas actividades deportivas que involucren carreras(Chamari y col., 2008). Mas aun, Paavolainen y col. (1999) mostró que este test es sensible a los efectos del entrenamiento. Los sujetos en el FTG incrementaron significativamente más el rendimiento en el 5JT comenzando con la pierna lesionada que los sujetos del CG, mostrando la eficacia del programa de entrenamiento funcional en la mejora de la potencia del paso.

La agilidad fue valorada con el test “T” de agilidad y el rendimiento se incrementó significativamente más en el FTG que en el CG ($p<0.05$). Los resultados indicaron que el programa de entrenamiento funcional mejoro la agilidad debido a un reclutamiento motor mayor y/o a adaptaciones neurales. De hecho, Potteiger y col. (1999) reporto que la mejora en los patrones de reclutamiento de unidades motoras resultaron en mejoras de la agilidad. Por lo tanto, el incremento de la agilidad es beneficioso para los deportistas que realizan movimientos rápidos en sus deportes. Renfro (1999) midió la agilidad mediante el “T” test luego de entrenamiento pliométrico mientras que Robinson and Owen (2004) usaron un programa de entrenamiento de saltos verticales, horizontales y laterales y en ambos casos se observaron mejoras de la agilidad. Potteiger y col. (1999) había mostrado que el entrenamiento pliométrico, cuando era incorporado dentro de un programa periodizado de entrenamiento de la fuerza, podría contribuir con la mejora en el rendimiento en los saltos verticales, aceleración, fuerza del miembro inferior, potencia muscular y aumentar la propiocepción. Los ejercicios pliométricos usualmente involucran, partidas, frenos, cambios de dirección con patrones explosivos (Young et al., 2001). Ha sido sugerido que estos movimientos son componentes que pueden asistir en el desarrollo de la agilidad (Zatterstrom et al., 1992). El efecto sobre la reducción del riesgo lesional de programas de entrenamiento específicamente diseñados para la mejora de la velocidad es desconocido. De todas maneras, Heidt y col. (2000), mostró que un protocolo de velocidad y agilidad es posible que prevenga lesiones en un 98%, en términos de una reducción de las lesiones de miembro inferior, en mujeres deportistas entrenadas cuando se compraró con deportistas que no recibieron dicho protocolo. Ha sido reportado también que el entrenamiento de la velocidad mejora el rendimiento en velocidad y que la suma de entretenimiento pliométrico o entrenamiento de resistencia puede proveer combinatoriamente efectos para el incremento de la velocidad (Risberg y col., 1999). El entrenamiento neuromuscular induce con frecuencia, incrementos en la potencia, agilidad y velocidad (Kraemer y col., 1998).

El programa de entrenamiento funcional de 8 semanas mejoro significativamente el rendimiento en el CMJ cuando se comparó con el grupo control. Literatura relevante ha mostrado que el rendimiento en el salto vertical puede ser mejorado a través de varios métodos de entrenamiento, tales como el entrenamiento de fuerza (Baker, 1996), saltos (Wrobble and Moxley, 2001), y una combinación de ejercicios pliométricos y electroestimulación (Maffiuletti y col., 2000). Se sugirió que las mejoras en el rendimiento en los saltos luego de entrenamiento pliométrico se deben a adaptaciones neurales, es decir, adaptaciones en los patrones de reclutamiento de unidades motoras y la actividad muscular agonista antagonista (Kyrolainen, 1991).

El presente trabajo mostro que ninguno de los dos grupos demostraron mejoras en el SJ, el CMJ y el CMJ con brazos libres. Esto está en sintonía con Chimera. y col. (2004) quien demostró una mejora pequeña e insignificante en la altura del salto vertical entre grupo pliométrico y control de deportistas. En la misma línea, Luebbers y col. (2003) and Herrero y col. (2010) no encontraron mejoras inmediatamente luego de un entrenamiento pliométrico pero si luego de un periodo de recuperación de 4 semanas. De todas maneras, estos resultados contrastaron con los publicados por Field (1991), quien reporto mejoras en el salto vertical luego de un programa de entrenamiento pliométrico en deportistas. Aparentemente estos estudios utilizaron diferentes frecuencias, intensidades, duración y tipos de ejercicios pliométricos, que podría explicar los diferentes efectos del entrenamiento. En este contexto, el salto vertical, si bien está presente en diferentes deportes, parece ser menos relevante en el rendimiento deportivo general que los tests de salto horizontales. De hecho, muchos más deportes en realidad utilizan en mayor medida los desplazamientos horizontales que el salto vertical.

El grupo FTG obtuvo mejoras en el salto horizontal a una pierna y el test de agilidad, significativamente mayores que el grupo CG, demostrando la eficiencia de este protocolo funcional. La consecución de mayores mejoras en el salto vertical podría ser intentada en futuros estudios, aun cuándo podría ser posible que un efecto techo en el salto vertical, sea alcanzado rápidamente en un programa de rehabilitación de RLCA.

Al diseñar un programa, en especial un programa de alto impacto, necesitamos ser conscientes que una de las mayores secuelas luego de una lesión de LCA y su cirugía es el desarrollo de OA (Osteoartritis). Estudios recientes (Oiestad y col., 2010) encontraron que la incidencia de OA luego de 10-15 años luego de la reconstrucción alcanza del 62% al 80% de los sujetos. Muchos factores han sido asociados al desarrollo de OA, incluyendo la presencia de lesión meniscal o condral (Gillquist y col., 1999), debilidad del cuádriceps (Slemenda y col., 1997),, y alteración en la cinemática de la rodilla (Deneweth y col., 2010). Resulta importante asegurarse buenos niveles de fuerza y control excéntrico del cuádriceps, junto con técnicas correctas de ejercicios y biomecánica apropiada mediante el entrenamiento activo de los músculos para que actúen como amortiguadores del impacto sobre la rodilla (Bennell y col., 2008; Bennell y col., 2009), y evitando cualquier lesión futura especialmente de meniscos podemos minimizar el desarrollo de la OA. Es posible que podamos reducir la OA con el uso de calzado deportivo acorde y niveles de superficie de entrenamientos y juegos parejos.

El programa de entrenamiento funcional que fue desarrollado usando 2 sesiones de entrenamiento por semana (4hrs/semana). Desde un punto de vista fisiológico y psicológico, 4 a 6 semanas de entrenamiento de la potencia de alta intensidad es una duración óptima para que el SNC sea estresado sin una excesiva tensión o fatiga (Adams y col., 1992). El presente estudio mostro que esta frecuencia y periodo parecen permitir suficiente tiempo para inducir beneficios neuromusculares adicionales en algunos rendimientos funcionales y de potencia tales como el test de salto a una pierna (horizontal y vertical), el test de salto quíntuple y el de agilidad. En este contexto, podría ser interesante estudiar los efectos de periodos de entrenamiento más largos de 8 semanas en el retorno al deporte del atleta luego de una RLCA.

El presente estudio mostro que desde el 4to al 6to mes post-RLCA, 2 sesiones de entrenamiento físico intenso a la semana ( 4hrs/semana) es al menos comparable y hasta más efectivo ( para algunos rendimientos funcionales) que 3 sesiones a la semana de un entrenamiento de intensidad relativamente baja ( 6hrs/semana). Esto podría dejar tiempo libre para una eventual introducción de entrenamiento progresivo de las técnicas deportivas específicas. Son necesarias futuras investigaciones para determinar si la implementación de una sesión intensa adicional por semana, es decir 3 sesiones de entrenamiento intenso en vez de 2, podría conducir a adaptaciones neuromusculares aún mayores. En este contexto, se ha de subrayar que esta propuesta de estudio se debe conseguir con un programa seguro, es decir, sin la presencia de lesión, dolor articular o muscular ni inflamación articular, o OA que podría poner en peligro el proceso de rehabilitación.

**Conclusión**

El presente estudio provee evidencia sobre la eficiencia del entrenamiento funcional sobre la rehabilitación de la rodilla y provee información importante, que es altamente relevante para médicos, fisioterapeutas, entrenadores y preparadores físicos quienes están a cargo de los deportistas lesionados durante la fase final de la rehabilitación luego de una RLCA.

El presente estudio introduce una nueva modalidad de entrenamiento en la rehabilitación luego de RLCA que resulta en una mejor recuperación la pierna operada así como de la pierna contralateral. Este programa podría permitir a los deportistas alcanzar valores funcionales y de fuerza buenos, con solo dos sesiones de entrenamiento por semana, preparándolos mejor para el regreso a la actividad deportiva a los 6 meses post-RLCA.

**Agradecimientos**

Los autores agradecen a todos los fisioterapeutas del centro Nacional de Medicina y Ciencia del Deporte (CNMSS), Nejib Tekaîa, Sofiene Khouja, Fathi Abid, Mourad Saddour y especialmente a Sofiene Kasmi and Narjess Touati.

Los autores también agradecen al Dr. Andrew W. Smith por su edición inglesa del manuscrito, a los pacientes que participaron en este estudio, al Dr Mokhtar Chtara que ayudo en el análisis estadístico, Dr Mourad Hambli por su soporte

técnicos y finalmente a los Dr Moncef Ben Abid, Dr Anis Chaouachi y Dr Wassim Moalla, por su guía en este estudio.

## REFERENCIAS


1. Adams, K., O'Shea, J.P., O'Shea, K.L. and Climstein, M (1992). The effects of six week Of squat, plyometrics, and squat plyometric training on power production. *Journal of Applied Sports Science Research 6, 36-41*
2. Ben Moussa Zouita, A., Zouita, S., Dziri, C., Ben Salah, F.Z. and Zehi, K (2008). Isokinetic, functional and proprioceptive assessment of soccer players two years after surgical reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee. *Annales de Réadaptation et Medecine Physique 51, 248-256*
3. Baker, D (1996). Improving vertical jump performance through general, special, and specific training. *The Journal Strength and Conditioning Research 10, 131-136*
4. Bennell, K.L., Hunt, M.A., Wrigley, T.V., Lim, B.W. and Hinman, R.S (2008). Role of muscle in the genesis and management of Knee Osteoarthritis. *Rheumatic DiseasesClinics of North America 34(3), 731-754*
5. Bennell, K.L., Hunt, M.A., Wrigley, Lim, B.W. and Hinman, R.S (2009). Muscle and Exercise in the Prevention and management of Knee Osteoarthritis. *The Medical Clinics of North America 93(1), 161-177*
6. Beynnon B.D., Bennjamin, S., Johnson R.J., Abate, J.A., Nichols C.E., Fleming B.C., Poole, A. and Roos, H (2005). Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective, randomized, double-blind comparaison of programs administrered over 2 different time intervals. *The American Journal of Sports Medicine 33(3), 347-359*
7. Bobbert, M.F. and Van Shoest, A.J (1994). Effect of muscle strengthening on vertical jump height: A stimulation study. *Medicine and Science in Sports and Exercise 26, 1012-1020*
8. Cascio, B.M., Culp, L. and Cogarea, A.J (2004). Return to play after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinics Sports Medicine 23: 395-408*
9. Chamari, K., Chaouachi, A., Hambli, M., Kaouech, F., Wissloff, U. and Castagna, C (2008). The 5 jump test for distance as a field test to assess lower limb explosive power in soccer players. *The Journal of Strength and Conditioning Research 22, 994-950*
10. Chimera, N.J, Swanik, K.A., Swanik, C.B. and Straub, S.J (2004). Effects of plyometric training on muscle activation strategies and performance in female athletes. *Journal of Athletic Training 39, 24-31*
11. Chmielewski, T.L, Myer G.D., Kauffman, D. and Tillman, S.M (2006). Plyometric exercise in the rehabilitation of athletes: physiological responses and clinical application. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy 36(5), 308-319*
12. Chu, D.A (1995). Rehabilitation of the lower extremity. *Clinical Sports Medicine 14, 205-222*
13. Cohen, J (1988). Statistical Power Analysis for the behavioural Sciences. *Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates*
14. Davies G.J (1987). A compendium of isokinetics. *Clinical usage and rehabilitation technics. 3rd Edition. S & S Publishers, Onalaska, WI*
15. DeJong, S.N., Van Caspel, D.R, Van Haeff, M.J. and Saris, D.B.F (2007). Functional assessment and muscle strength before and after reconstruction of chronic anterior cruciate ligament lesions. *Arthroscopy 23, 21-28*
16. Deneweth, J.M., Bey, M.J., McLean, S.G., Lock, T.R., Kolowich, P.A. and Tashman, S (2010). Tibiofemoral joint kinematics of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee during a single legged Hop Landing. *The American Journal of Sports Medicine 38(9), 1820-1828*
17. Dye, S., Wojtys, E., Fu, F.H., Fithian, D.C. and Gillquist I (1998). Factors contributing to function of the knee joint after injury of reconstruction of the anterior cruciate ligament. *The Journal of Bone and Joint Surgery 80a, 1380-1393*
18. Edson, C (2003). Postoperative rehabilitation of the multiple-ligament reconstructed knee. *Operative Techniques in Sports Medicine, 11(4), 294-301*
19. Field, R.W (1991). Off season plyometric conditioning for the collegiate soccer player. *National Strength Conditionning Association Journal 13, 27-28*
20. Gerber, J.P., Marcus, R.L., Dibble, L.E., Greis, P.E. and LaStayo, P.C (2006). Early application of early application of negative work via eccentric ergometry following anterior cruciate ligament reconstruction. A case report. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy 36(5), 298-307*
21. Gillquist, J. and Messner, K (1999). Anterior cruciate ligament reconstruction and the long-term incidence of gonarthrosis. *Sports Medicine 27(3), 143-156*
22. Gobbi, A., Diara, A., Mahajan, S. Zanazzo, M. and Tuy, B (2002). Patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction with conical press fit femoral fixation: 5 year results in athletes population. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy 10(2), 73-79*
23. Hamilton, R.T., Shultz, S.J., Sshmitz, R.J. and Perrin, D.H (2008). Triple hop distance as a valid predictor of lower limb strength and power. *Journal of Athletic Training 43, 144-151*
24. Heidt, R.S., Sweetermann, L.M., Carlonas, R.L., Traub, J.A. and Tekulve, F. (2000). Avoidance of soccer injuries with preseason conditioning. *The American Journal of Sports Medicine 28, 659-662*
25. Herrero, A.J., Martín, J., Martín, T., Abadía, O., Fernández, B. and García-López, D (2010). Short-term effect of strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance. A randomized controlled trial. Part I. *Journal of Strength and Conditioning Research 24(6), 1609-1615*
26. Hewett, T.E., Stroupe, A.L., Nance, T.A. and Noyes, F.R (1996). Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *The American Journal of Sports Medicine 24, 765-773*

27. Keays, S.L., Bullock-Saxton, J.E. and Keays, A.C (2000). Strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Orthopaedic and Related Research 373, 174-183*
28. Kraemer, W.J., Duncan, N.D. and Volek, J.S (1998). Resistance training and elite athletes: adaptations and program considerations. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy 28, 110- 119*
29. Kvist, J (2004). Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury: current recommendations for sports participation. *Sports Medicine 34, 269-280*
30. Kyrolainen, T.T., Komi, P.V. and Kim, D.H (1991). Effects of power training on neuromuscular performance and mechanical efficiency. *Scandinavian Journal of Medicine and Sciences in Sports 1, 78-87*
31. Lange, B. and Bury, T (2002). Preliminary study of jumping ability using the optojump system. *Biométrie Humaine et Anthropologie 20(1-2), 17-22*
32. Legnani, C., Ventura, A., Terzaghi, C., Borgo, E. and Albisetti, W (2010). Anterior cruciate ligament reconstruction with synthetic grafts. *A review of literature. International Orthopaedic 34, 465-471*
33. Luebbers, P.E., Potteiger, J.A., Hulver, M.W., Thyfault, J.P., Carper, M.J. and Lockwood, R.H (2003). Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance and anaerobic power. *Journal Strength and Conditioning Research 17, 704-709*
34. Maffiuletti, N.A., Gometti, C., Amiridis, I.G., Martin, A., Pousoon, M. and Chatard J.C (2000). The effect of electrostimualation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *International Journal of Sports Medicine 21, 437-443*
35. Miller, M.G., Herniman, J.J., Ricard, M.D., Cheatham, C.C. and Michael, T.J (2006). The effect of 6 week plyometric training program on agility. *Journal of Sports and Sciences Medicine 5, 459-465*
36. Muller, K.E. and Benignus, V.A (1992). Increasing scientific power with statistical power. *Nwurotoxic and Teratology 14, 211-219*
37. Myer, G.D., Paterno, M.V. and Hewett, T.E (2004). Back in the game: a four-phase return to sport program for athletes with problem ACLS. *Rehabilitation Management 17, 30-33*
38. Myer, G.D., Ford, K.R., Palumbo, J.P. and Hewett, T.E (2005). Neuromuscular training improves performance and lower extremity biomechanics in female athletes. *The Journal Strength and Conditioning Research 19, 51-60*
39. Myer, G.D., Paterno, M.V., Ford, K.R., Quatman, C.E. and Hewett, T.E (2006). Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: criteria based progression through the return to sport phase. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy 36, 385-402*
40. Noyes, F.R., Babrber, S.D. and Mangine, R.E (1991). Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *The American Journal of Sports Medicine 19, 513-518*
41. Nyland, J., Brosky, T., Currier, D., Nitz, A. and Caborn, D (1994). Review of the afferent neural system of the knee and its contribution to motor learning. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy 19, 2-11*
42. Nyland, J., Brand E. and Fisher B (2010). Update on rehabilitation following ACL reconstruction. *Open Access Journal of Sports Medicine 1, 153-160*
43. Oiestad, B.E., Holm, I., Aune, A.K., Gunderson, R., Myklebust, G., Engebretsen, L., Fosdahl, M.A. and Risberg, M.A (2010). Knee function and prevalence of knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study with 10 to 15 years of follow-up. *American Journal of Sports Medicine 38(11), 2201-2210*
44. Paavolainen, L., Hakkinen, K., Hamalainen, I., Nummela, A. and Rusko, H (1999). Explosive strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology 86, 1527-1533*
45. Paule, K., Madole, K., Garhammer, J., Lacourse, M. and Rozenek, R (2000). Reliability and validity of the t test as a measure of agility, leg power and leg speed in college aged men and women. *The Journal Strength and Conditioning Research 14, 443-450*
46. Potteiger, J.A., Lockwood, R.H., Haub, M.D., Dolezal, B.A., Alumzaini, K.S., Schroeder, J.M. and Zebas, C.J (1999). Muscle power and fiber characteristic following 8 weeks of plyometric training. *The Journal Strength and Conditioning Research 13, 275-279*
47. Renfro, G (1999). Summer plyometric training for football and its effect on speed and agility. *The Journal of Strength and Conditioning Research 21, 42-44*
48. Risberg, M.A., Holm, I., Steen, H., Eriksson, J. and Ekeland, A (1999). The effect of knee bracing after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized study with two years' follow-up. *The American Journal of Sports Medicine 27, 76- 83*
49. Robinson, B.M. and Owen, B (2004). Five-week program to increase agility, speed, and power in the preparation phase of a yearly training plan. *Strength Condionning 26, 30-35*
50. Rochcongar P (2004). Evaluation isocinétique des extenseurs et fléchisseurs du genou en medecine du sport: revue de la littérature. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique 47, 274-281. (In French)*
51. Sapega, A.A (1990). Muscle performance evaluation in orthopaedic practice. *Journal Bone Joint Surgery American 72, 1562-1574*
52. Slemenda, C., Brandt, K.D., Heilman, D.K., Mazzuca, S., Braunstein, E.M., Katz, B.P. and Wolinsky, F.D (1997). Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee. *Annals of Internal Medicine 127(2), 97-104*
53. Sporis, G., Jukic, I., Milanovic, L. and Vucetic, V (2010). Reliability and factorial validity of agility tests for soccer players. *The Journal of Strength and Conditioning Research 24, 679-686*
54. Swanick, C.B. and Swanick, K.A (1999). Plyometrics in rehabilitating the lower extremity. *Athletic Therapy Today 4, 16-22*
55. Tegner, Y. and Lysholm, J (1985). Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clinical Orthopedics 198, 43-49*
56. Tegner, Y., Lysholm, J., Lysholm, M. and Gillquist, J (1986). A performance test to monitor rehabilitation and evaluate anterior cruciate ligament injuries. *The American Journal of SportsMedicine 14, 156-159*
57. Toumi, H., Best, T.M., Martin, A., Guyer, F. and Poumarat, G (2004). Effects of eccentric phase velocity of plyometric training on the vertical jump. *International Journal of Sports Medicine 25, 391-398*
58. Wilk, K.E., Romaniello, W.T., Soscia, S.M., Arrigo, C.A. and Andrews, J.R (1994). The relationship between subjective knee scores,

isokinetic testing, and functional testing in the ACL reconstructed knee. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy 2, 60-73*
59. Wilk, K.E., Reinol, M.M. and Hooks, T.R (2003). Recent advances in the rehabilitation of isolated and combined anterior cruciate ligament injuries. *Orthopedic Clinic of North America 34, 107- 137*
60. Wilkerson G.B., Colston M.A., Short N.I., Neal K.L., Hoewischer P.E. and Pixley J.J (2004). Neuromuscular changes in female collegiate athletes resulting from a plyometric jump training program. *Journal of Athletic Training 39(1), 17-23*
61. Williams, G.N., Chmielewski, T., Rudolph, K., Buchanan, T.S. and Snyder-Mackler L (2001). Dynamic knee stability: current theory and implications for clinicians and scientists. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy 31, 546-566*
62. Wilson, G.J., Newton, R.U., Murphy, A.J. and Humphries, B.J (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise 25, 1279-1286*
63. Wrobble, R.R. and Moxley, D.R (2001). The effect of winter sports participation on high school football players: strength, power, agility, and body composition. *The Journal of Strength and Conditioning Research 15, 132-135*
64. Young, W.B., McDowell, M.H. and Scarlett, B.J (2001). Specificity of spring and agility training methods. *The Journal Strength and Conditioning Research 15, 315-319*
65. Zatterstrom, R., Friden, T., Lindstrand, A. and Moritz U (1992). Muscle training in chronic anterior cruciate ligament insufficiency-a Improving functional performance and muscle power comparative study. *Scandinavian Journal Rehabilitation Medicine 24, 91-97*
66. Souissi Sabrine, Wong Del P., Dellal Alexandre , Croisier Jean-Louis , Ellouze Zied and Chamari Karim (2011). Improving functional performance and muscle power 4-to-6 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Sports Science and Medicine 10, 655-664*

**Cita Original**

Souissi Sabrine, Wong Del P., Dellal Alexandre , Croisier Jean-Louis , Ellouze Zied and Chamari Karim. Improving functional performance and muscle power 4-to-6 months after anterior cruciate ligament reconstruction. Journal of Sports Science and Medicine (2011) 10, 655-664