

4. Rotura del ligamento cruzado anterior ¿qué se puede hacer desde el deporte? prevención y recuperación

Francesc Pons Albert

Grado en Ciencias de la actividad física y el deporte.

Fecha recepción: 23.06.2021

Fecha aceptación: 27.07.2021

RESUMEN

Una de las mis principales preocupaciones como preparador físico siempre ha sido evitar que mis jugadores/ras se lesionen. Concretamente, la lesión de rotura del ligamento cruzado anterior es una lesión muy grave y común entre los jugadores/as de baloncesto, campo al que me dedico. Este es el motivo por el cual en este documento he intentado recopilar y comparar los principales estudios científicos que abordan la temática desde el punto de vista deportivo.

El objetivo del presente trabajo es ofrecer una visión global y actualizada centrada en la prevención y recuperación de la lesión.

Palabras clave: Lesión, recuperación, cirugía, ligamento cruzado anterior, entrenamiento, retorno.

ABSTRACT

One of my main concerns as a physical trainer has always been to prevent my players/ras from getting injured. Specifically, the rupture injury of the anterior cruciate ligament is a very serious and common injury among basketball players/ace, field to which I dedicate myself. This is why in this document I have tried to compile and compare the main scientific studies that address the issue from a sports point of view.

The objective of this paper is to offer a global and updated vision focused on the prevention and recovery of injury.

Keywords: Injury, recovery, surgery, anterior cruciate ligament, training, return.

1. INTRODUCCIÓN

La rotura del ligamento cruzado anterior es una lesión relativamente habitual entre los practicantes de deportes que impliquen movimientos de cortes, cambios de dirección o pivotes (baloncesto, fútbol, hockey, etc.), y tiene una especial incidencia en las mujeres. Atendiendo a la edad, las per-

sonas entre 15 y 40 años serán especialmente sensibles a sufrir este tipo de patología.

El estudio realizado entre 2006 y 2009 en todos los hospitales noruegos, con pacientes de entre 10 y 19 años que habían sufrido una lesión de ligamento cruzado anterior (en adelante, LCA) arroja datos muy relevantes sobre la incidencia de este tipo de lesión que se pueden observar en las siguientes gráficas¹.

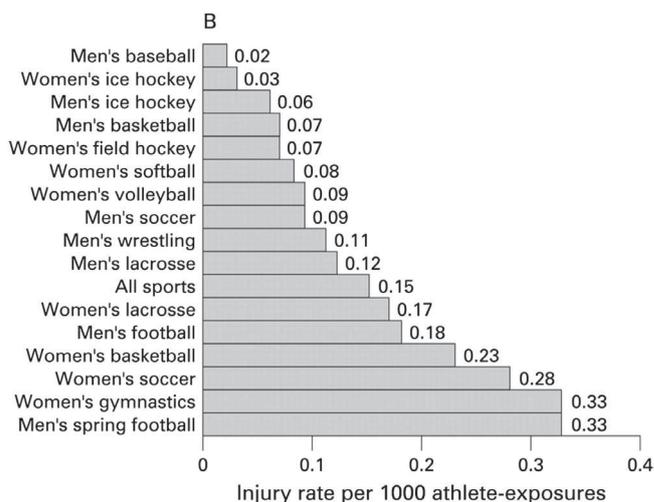


Gráfico 1. Porcentaje de lesión por cada 1000 deportistas expuestos.

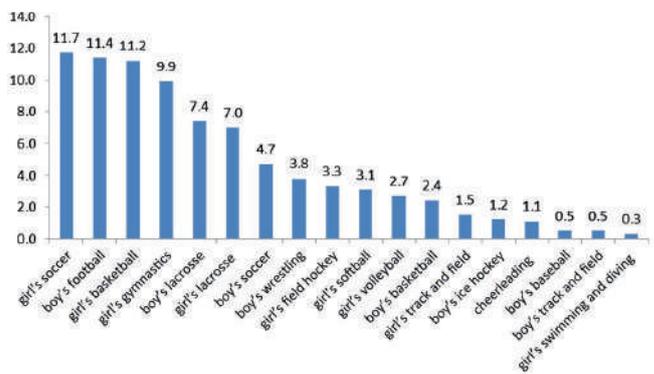


Gráfico 2. Índice de lesiones de LCA por cada 100000 deportistas expuestos.

En los gráficos 1 y 2 sobre ratio de lesiones por cada 100 atletas y ratio de lesiones por cada 100.000 escolares de secundaria por deportes, extraídos del citado estudio, se ejemplifica visualmente cómo los deportes en los que más incidencia tienen este tipo de lesiones son el fútbol, el baloncesto y el hockey. Todos ellos implican cambios de dirección, pivotes y movimientos de corte. Además, podemos observar como en el caso de las modalidades femeninas esta incidencia es incluso mayor.

Por otro lado, en el estudio realizado en 2001 por la Asociación Española de Artroscopia² se estimó que en España se realizan anualmente 16.821 plastias de LCA anuales, dato que muestra una prevalencia de 4 casos por cada 1000 habitantes al año.

En otros países, como EEUU, la lesión afectará hasta el 0,05% de la población general, con una incidencia 3,67% mayor para aquellos que participan en deportes multidireccionales. Además, en el caso de las mujeres, la incidencia de este tipo de lesiones es 4 veces más alta que en el caso de los hombres³.

Si realizamos este mismo análisis en deportistas de élite, el porcentaje aumenta hasta el 15%, siendo las mujeres entre 2 y 6 veces más propensas a sufrir este tipo de patologías⁴.

Esto supone, según Dai et al.⁵ que aproximadamente 1 de cada 3000 americanos sufre una rotura de ligamento cruzado anterior (en adelante, RLCA) practicando algún tipo de deporte. Estos datos son mucho más determinantes en el caso de las mujeres deportistas, según Sugimoto et al.⁶ cada 81 mujeres deportistas 1 sufre una RLCA.

Por su parte, en Noruega la incidencia anual de RLCA es de 76 cada 100.000 chicas y 47 cada 100.000 chicos, aunque no se incluyen las roturas que no fueron operadas¹.

En valores absolutos, en EEUU se realizan entre 250.000 y 350.000 roturas de ligamento cruzado anterior (en adelante, RLCA) cada año (dato de 2016). Dentro de estas, las jugadoras de baloncesto y fútbol tienen entre 2.4 y 4.1 veces más riesgo de sufrir esta lesión que sus homólogos varones (datos extraídos a nivel universitario)^{7 y 8}.

Además, cabe señalar que en los últimos años este tipo de lesiones han aumentado de manera exponencial debido a la generalización de la práctica de deportes de equipo. Si en el año 1994 se estima que se realizaron 86.687 reconstrucciones de ligamento cruzado anterior (en adelante, ReLCA), en el año 2013 el número ascendía a 148.714, un 58% más⁹.

Visto el impacto que tienen este tipo de lesiones sobre los deportistas resulta necesario preguntarnos qué debemos hacer cuando estas aparecen. Al respecto, el 98% de los traumatólogos y cirujanos ortopédicos recomiendan la ReLCA para pacientes que desean volver a practicar deporte¹⁰.

No podemos olvidar que se trata de intervenciones de elevado coste económico, Taylor et al.³ estiman que el diagnóstico, tratamiento, cirugía y rehabilitación de una RLCA asciende a 12.000€. Por su parte, Wilk et al.⁹ estiman que este precio puede oscilar entre 32.000€-50.000€. Aun tratándose de cirugías prohibitivas económicamente parece ser la mejor opción para superar este tipo de lesiones. En este sentido, ambos estudios concluyen que el precio invertido queda justificado debido a que la operación consigue restaurar al 100% la funcionalidad de la rodilla^{3 y 9}.

Nos gustaría clarificar esta afirmación, ya que puede resultar un poco confusa. Pese a que anatómicamente después de la ReLCA se ha reconstruido el tejido dañado, es muy posible que este no llegue a conseguir las propiedades que tenía el original, es por eso que Gokeler et al.⁷ afirman que solamente el 60% de los pacientes conseguirá una recuperación total después de la intervención.

Son muchos los estudios que han analizado la evolución de los deportistas que han sufrido una RLCA y ReLCA.

Según van Melick et al.⁴, el 35% de los deportistas que sufren una ReLCA no vuelven al nivel deportivo previo a la le-

sión en los dos años siguientes. Por otro lado, un estudio reciente muestra que 3-22% de los deportistas operados de RLCA vuelven a sufrir esta patología en el mismo ligamento y entre el 3-22% en la pierna contralateral durante los primeros 5 años posteriores a la primera ReLCA. Además, el índice de deportistas (no profesionales) que vuelven a jugar al nivel previo a su lesión después de la ReLCA es del 65%.

Por su parte Bizzini et al.¹¹ analizan una muestra de 5700 pacientes a los que se les llevó a cabo una ReLCA (profesionales y amateurs) de los cuales el 63% volvieron a practicar deporte al nivel previo a la lesión, pero solo el 44% volvió a practicar deporte competitivo^{11 7 12}.

De la misma manera, para Hamrin et al.¹³ el 81% de los pacientes de ReLCA vuelven a practicar deporte, pero solo el 55% vuelven a practicar deporte competitivo. Además, más del 50% de los pacientes que vuelven a participar a alto nivel de competición, señalan que su rendimiento se ha visto reducido frente a su rendimiento pre-ReLCA.

Según Kline et al.¹⁴ incluso después de la operación y la rehabilitación, el 37%-55% de los individuos no vuelven a practicar deporte al mismo nivel competitivo.

Podemos concluir que, pese a la ReLCA, existe un gran porcentaje de deportistas que no consiguen recuperar su nivel inicial; son muchos los factores que pueden incidir en este proceso como el tipo de operación, protocolo de prevención o proceso de rehabilitación. En el presente estudio trataremos de analizar todos los factores que intervienen en la correcta recuperación de este tipo de lesiones desde la óptica deportiva.

Además, otro factor a tener en cuenta es el *riesgo de re-lesión*, que será abordado en el epígrafe 4. A continuación, presentamos las aportaciones más destacadas al respecto.

Para Undheim et al.¹⁵ entre el 6 y el 27% de los deportistas que vuelven a la práctica deportiva después de una ReLCA padecen una nueva RLCA (en la misma rodilla o en la otra) en los siguientes 10 años. Por otro lado, Labella et al.¹ afirma que para los deportistas que vuelven a practicar deporte a máximo nivel después de someterse a una ReLCA el riesgo de segunda lesión es de 24%.

En una línea similar, según Czuppon et al.¹⁰ los índices de re-lesión en la rodilla que ha sufrido una Re-LCA o en la contralateral oscilan entre el 3% y 49%.

Risberg et al.¹⁶ destacan que de entre los pacientes que vuelven a la práctica deportiva, el riesgo de re-RLCA entre los jóvenes es de hasta 30% en los siguientes 5 años. El 50% sufren una lesión/cirugía de menisco en los siguientes 5 años. Todo esto aumenta la probabilidad de sufrir osteoartritis (OA) en el futuro.

A su vez, Gokeler et al.¹⁷ afirman que el 23% de los jóvenes que vuelven a la práctica deportiva después de Re-LCA padecen una segunda RLCA; y Risberg et al.¹⁶, en una línea similar, establece que de aquellos que vuelven a la práctica deportiva, más del 50% padecen OA.

Como hemos podido comprobar, son muchas las evidencias que nos alertan del riesgo de volver a sufrir una le-

sión entre aquellos que se someten a una ReLCA. Además, tendremos que ser conscientes de los problemas derivados de este tipo de patologías a largo plazo, como la osteoartritis. Todos estos aspectos se tendrán en cuenta tanto en el apartado de prevención, como de recuperación puesto que ambos tienen incidencia directa^{18 19 20 21}.

A modo de resumen, podemos afirmar que las lesiones de LCA conllevan graves modificaciones sobre la práctica deportiva y la calidad de vida de las personas; por ello, el objetivo de este documento es:

- Recopilar el conocimiento existente sobre la elaboración de protocolos de prevención, compararlos y deducir qué estrategias son más adecuadas para reducir la incidencia de este tipo de patologías.
- Obtener y analizar la información sobre los procesos de recuperación extrayendo los aspectos más relevantes para conseguir que los deportistas vuelvan a su nivel previo a la lesión, minimizando los riesgos de volver a sufrirla.
- Establecer posibles líneas de investigación para futuros trabajos.

2. LA RODILLA Y LA RUPTURA DEL LCA

Antes de continuar adentrándonos en el trabajo se hace necesario conocer un poco mejor la articulación de la rodilla y la casuística relacionada con la ruptura del ligamento cruzado anterior.

La rodilla es una de las articulaciones más complejas del cuerpo humano. De hecho, para ser precisos debemos hablar de dos articulaciones: la femoro-tibial, del tipo sinovial bicondílea y la femoro-patelarse, una diartrosis del género troclear. No obstante, y al igual que en la mayoría de tratados, de ahora en adelante nos referiremos a ambas bajo el nombre de articulación de la rodilla dado que ambas actúan de forma sinérgica²².

Todas las acciones de desplazamiento implican el uso de la rodilla y en muchos de los casos es la articulación más solicitada. Pese a realizar casi exclusivamente movimientos de flexión y extensión, está sometida a mucho estrés durante

Tabla 1. Características generales de las lesiones deportivas.

	3rd professional league n (%)	Highest amateur level n (%)
Injury localisation		
Head	23/349 (6.6 %)	10/224 (4.5 %)
Upper extremity	18/349 (5.2 %)	21/224 (9.4 %)
Back or trunk	5/349 (1.4 %)	5/224 (2.2 %)
Hip or groin	32/349 (9.2 %)	16/224 (7.1 %)
Thigh	74/349 (21.2 %)	31/224 (13.9 %)
Knee	86/349 (24.6 %)	50/224 (22.3 %)
Shank	33/349 (9.5 %)	20/224 (8.9 %)
Ankle	55/349 (15.7 %)	47/224 (21.0 %)
Foot	23/349 (6.6 %)	24/224 (10.7 %)
Type of injury		
Strain	47/349 (13.5 %)	28/224 (12.5 %)
Rupture	142/349 (40.6 %)	92/224 (41.0 %)
Fracture	46/349 (13.2 %)	38/224 (17.0 %)
Sprain	14/349 (4.0 %)	13/224 (5.8 %)
Dislocation	2/349 (0.6 %)	4/224 (1.8 %)
Contusion	36/349 (10.3 %)	23/224 (10.3 %)
Overuse injuries	62/349 (17.8 %)	26/224 (11.6 %)
Severity of injury		
Slight injury	84/349 (24.1 %)	39/224 (17.4 %)
Moderate injury	133/349 (38.1 %)	92/224 (41.1 %)
Severe injury	132/349 (37.8 %)	93/224 (41.5 %)

la práctica deportiva y esto provoca que la mayoría de lesiones tengan incidencia sobre ella.

Esta incidencia se hace especialmente presente en los deportes que implican pivotes y movimientos de corte, en los que aparece como la zona del cuerpo más castigada por las lesiones. Este hecho se puede observar en la tabla 1 diseñada por Krutsch et al²³ en su estudio sobre las lesiones en el fútbol.

2.1. Breve revisión anatómica

Antes de continuar y adentrarnos en las particularidades de la RLCA y su relación con el deporte consideramos im-

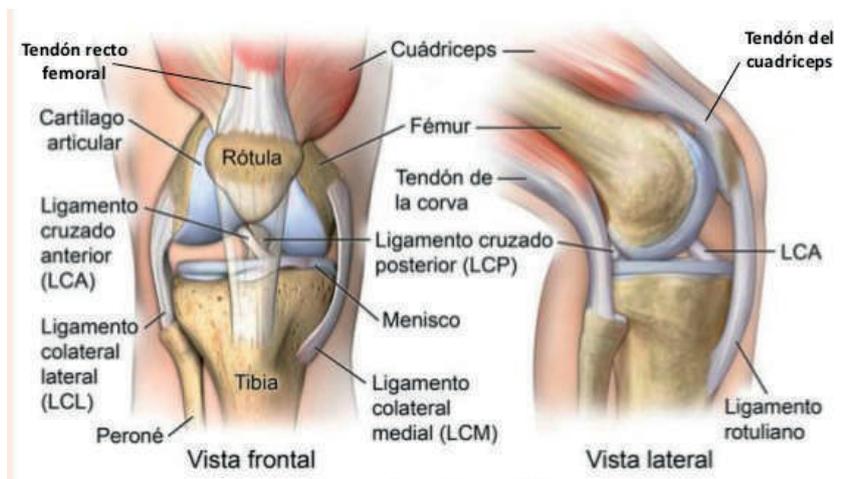


Ilustración 1. Anatomía de la rodilla.²⁴

portante realizar un breve recordatorio de la anatomía de la articulación.

La articulación de la rodilla está compuesta por la acción conjunta de los huesos fémur, tibia, rótula, los meniscos y los ligamentos. El cuerpo principal está formado por el fémur y tibia, mientras que la rótula actúa como polea del cuádriceps. Tanto el tendón cuadriceps como el rotuliano (ambos conectados y en conjunción con la rótula) tienen como función transmitir la fuerza a la inserción y realizar la extensión de la rodilla. Por su parte, los meniscos actúan como medios de unión elásticos entre las estructuras óseas y transmisores de las fuerzas de compresión entre la tibia y el fémur.

Por último, y de gran importancia para este trabajo, abordamos la función de los ligamentos en la articulación de la rodilla. Como se puede observar en la Imagen 1 en dicha articulación participan 4 ligamentos (Cruzado anterior, cruzado posterior, colateral lateral y colateral medial). Tienen como función primordial dotar de estabilidad a la rodilla y evitar que esta realice movimientos excesivos²⁴⁻²⁷.

En concreto el LCA, el cual va a centrar nuestra atención en el presente trabajo, está oblicuamente inclinado vertical a $26.6 \pm 6^\circ$, se sitúa desde la parte posterior de la parte media del cóndilo hasta el área intercondilar entre el ligamento transversal meniscal y la parte media del menisco medial. Este ligamento puede ejercer una resistencia de 2160N, presenta una rigidez de 242 N/mm y un área transversal máxima de 44 mm². A nivel general, su longitud media es de 38 mm y el ancho medio es de 11 mm^{28,29}.

La función principal del LCA es resistir a la translación anterior de la tibia en un 90% pero también actúa como restrictor de la rotación tibial de manera secundaria; ambas funciones permiten el mantenimiento de la estabilidad de la rodilla. Además, el LCA contiene mecano-receptores (2,5%) y, por tanto, influye directamente en el control neuromuscular de la articulación de la rodilla^{4,27}.

Otros autores como Dai et al.⁵ añaden que el LCA asiste evitando la excesiva extensión de rodilla, los momentos de varo y valgo y la rotación de la tibia. Además, protege el menisco de las fuerzas de tracción que ocurren durante los movimientos deportivos como saltos, aterrizajes, pivotes y desaceleraciones.

Cabe destacar por otra parte que el LCA consiste en 3 fascículos funcionales: antero-medial (AM), intermedio (I) y postero-lateral (PL). No todos actúan en todos los movimientos de la rodilla, ya que con el movimiento de flexión, el AM se tensa y el PL se afloja. Con el movimiento de extensión de

rodilla el AM pierde un poco de tensión y el PLB está tenso. Sin embargo, ambos AM y PL se elongan en los últimos 30° de extensión de rodilla²⁹.

2.2. Rotura del ligamento cruzado anterior

Después de repasar la anatomía de la articulación de la rodilla y, en concreto, del LCA pasamos a analizar las roturas del mismo. Como hemos visto, se trata de una lesión relativamente común y muy invalidante entre los deportistas.

Las roturas del ligamento cruzado anterior pueden suceder como resultado de un traumatismo o en ausencia del mismo, siendo este segundo grupo el más habitual en la práctica deportiva, pues supone más de un 70% del total. Dentro de las lesiones clasificadas como "con contacto" se pueden distinguir a su vez dos subgrupos: cuando la lesión está provocada por un traumatismo directo sobre la rodilla la consideraremos "con contacto", y en aquellos casos en los que está provocada por un contacto con otro cuerpo u objeto pero sin traumatismo directo sobre la rodilla, la consideraremos "sin contacto con perturbación"⁵.

De la misma forma, también podemos clasificar las lesiones en función al grado de afectación que han tenido sobre el LCA, pudiendo distinguir entre: parcial, completa o avulsión.

Consideraremos "parcial" a aquella ruptura que únicamente afecta a un porcentaje de la superficie del LCA aunque este sigue unido y puede realizar parcialmente su función; no supone la intervención quirúrgica en todos los casos, dependerá de la afectación y la capacidad de regeneración que estime el profesional facultativo encargado del diagnóstico²⁸.

Por otro lado, consideraremos "completa" aquella ruptura que provoque la división del ligamento en dos segmentos provocando la incapacidad funcional total; en caso de querer recuperar la funcionalidad completa de la rodilla, y por tanto de dicho ligamento, se hace necesario recurrir a la reconstrucción quirúrgica del mismo²⁸.

Por último, la "avulsión" del LCA supone el arrancamiento del ligamento por el punto de su inserción en la tuberosidad anterior de la tibia; en este caso también se pierde la totalidad de la función del mismo y se hace necesario recurrir a técnicas quirúrgicas para volver a unir el ligamento con la inserción²⁸.

Los diferentes tipos de rotura de LCA pueden ser observados en la siguiente imagen²⁸:



Ilustración 2. Tipos de rotura del LCA.²⁴

2.3. Reconstrucción del LCA

La reconstrucción del LCA se realiza por medio de una intervención quirúrgica en la que se reemplaza el LCA dañado por un tejido óptimo para desarrollar su función. El tejido utilizado para llevar a cabo esta operación puede provenir de la persona lesionada (autoinjerto) o de un donante. Cuando se realiza la intervención con autoinjerto, el tejido normalmente es obtenido del tendón de la rótula o el de la corva (isquitibial). En cambio, cuando el tejido es proveniente de un donante se suele emplear el propio LCA de este para reemplazarlo³⁰⁻³³.

Son muchos los estudios que demuestran que el uso de autoinjerto asegura buenos resultados funcionales para deportistas de élite. La principal ventaja que estos presentan frente al tejido de un donante es que las condiciones del injerto (fuerza, dureza y estabilidad) son las propias del sujeto y mejoran la adaptación. Dentro de los autoinjertos, según el trabajo realizado por Anglietti et al.³⁴ un porcentaje mayor de los pacientes que recibieron una ReLCA con autoinjerto tendón rotuliano (BPT) volvió a la práctica deportiva 6 meses respecto a aquellos que recibieron un autoinjerto del tendón isquitibial. Esto se puede deber a que los valores de simetría en la fuerza entre los flexores de la rodilla son mucho más bajos que si se trata de un autoinjerto del tendón rotuliano^{34 35}.

Por último, la técnica más empleada para llevar a cabo esta operación es la artroscopia. Esto supone realizar tres incisiones pequeñas en la rodilla: una será utilizada para introducir una cámara minúscula con la que se observará la zona de trabajo y las otras dos servirán para emplear los instrumentos médicos. La intervención seguirá los siguientes pasos³⁶⁻⁵⁹:

- El ligamento dañado es retirado.
- En caso de utilizar tejido propio para la creación del nuevo LCA, el cirujano hará una incisión más grande, a través de la cual extraerá luego este tejido.
- El cirujano creará túneles en el hueso para pasar el nuevo tejido; este se situará exactamente en el mismo punto donde se encontraba el LCA dañado.

- Por último, se fijará el nuevo ligamento al hueso con tornillos u otros dispositivos para mantenerlo en su lugar. A medida que el proceso de recuperación avance, los túneles del hueso se irán llenando hasta que el nuevo ligamento quede sujeto en su lugar.

La intervención normalmente se realiza en el momento en el que el paciente recupera rango de movimiento articular (en adelante, ROM) completamente (entre 1 y 4 semanas después de la RLCA) o bien 2 o 3 días después de la RLCA con un programa de rehabilitación preoperatoria agresivo^{35 59}.

3. METODOLOGÍA

Para tratar de cumplir con el objetivo principal del trabajo, analizar la información existente en relación a la prevención y rehabilitación de la lesión de RLCA, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica sobre las publicaciones más destacadas del área de interés. La investigación se ha realizado a través del motor de búsqueda de libre acceso PUBMED, uno de los más potentes en temas relacionados con la salud, dado puesto que trabaja en colaboración con la *Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos* y dispone de alrededor de 4800 revistas de más de 70 países.

La búsqueda se ha realizado en inglés debido a que, independientemente del idioma de publicación, la mayoría de artículos incluyen las *palabras clave* y el *abstract* en este idioma. Además, se han recopilado únicamente los trabajos más actuales, por lo que la búsqueda se ha limitado a aquellos trabajos publicados a partir del año 2014.

Los descriptores empleados para localizar los trabajos de interés para el presente texto fueron los siguientes: "ACL injury AND recovery", "ACL AND injury", "ACL AND surgery", "Anterior Cruciate Ligament", "ACL injury AND sport NOT surgery", "ACL injury AND rehabilitation" "ACL injury AND sport" y (((ACL injury) AND sport) OR recovery) NOT surgery.

Sin embargo, después de realizar una breve revisión de los títulos obtenidos, se observó que estos eran demasiado inespecíficos, los resultados eran demasiado numerosos y,

Tabla 2. Artículos encontrados para cada descriptor.

Búsqueda	Resultados	2014	2015	2016	2017	Total
ACL injury AND Recovery	939	93	66	44	1	204
ACL AND injury	11348	703	796	760	28	2287
ACL AND surgery	13466	833	1028	990	49	2900
Anterior Cruciate Ligament	17118	1066	1276	1428	70	3840
ACL injury AND rehabilitation	2510	169	202	171	11	553
ACL injury AND sport NOT surgery	1510	110	117	178	2	407
ACL injury AND sport	306	393	478	484	31	1386
(((ACL injury) AND sport) OR recovery) NOT surgery	278451	15007	15537	18231	1819	50594
(((ACL injury) AND sport) AND recovery) NOT surgery	50	4	4	6	0	14
ACL injury AND training	899	81	90	113	5	289
((ACL injury) AND rehabilitation) AND sport	1662	121	147	138	10	416
((ACL injury) AND sport) AND return	710	71	85	112	10	278

en la mayoría de los casos, no se ajustaban al contenido deseado. Por este motivo, se realizó una segunda búsqueda en la que se utilizaron los siguientes descriptores: (((ACL injury) AND sport) AND recovery) NOT surgery, ((ACL injury) AND rehabilitation) AND sport, ((ACL injury) AND sport) AND return y ACL injury AND training.

La incorporación de palabras como “training” o “return” en conjunción con un uso más preciso de los operadores booleanos redujo significativamente el número de resultados. Además, los títulos obtenidos resultaron más adecuados para el propósito del trabajo. En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para cada una de las búsquedas.

Para el presente trabajo han sido utilizados los resultados de las búsquedas que aparecen sombreados en verde en la tabla 2; ese a esto, el número total de artículos obtenidos seguía siendo muy elevado (997); por este motivo, se establecieron 3 filtros con el objetivo de reducir dicho número y conservar únicamente aquellos que presentaran un alto valor para el estudio.

El primer filtro se ha llevado a cabo realizando una lectura de los 997 títulos obtenidos con el propósito de descartar aquellos que no guardasen relación con la materia motivo de estudio. Después de aplicar dicho filtro el total de artículos se redujo a 521.

Como segunda herramienta de criba se comprobó la repercusión que había tenido cada uno de los artículos escogidos. Esta medición se realizó comprobando el impacto obtenido por las revistas en las que fueron publicados dichos artículos durante los años de publicación. Para determinar el grado de repercusión o su impacto se empleó la clasificación presentada por *Web of Science* donde se establecen índices a través del Journal Citation Report.

Para el presente texto, solo se han empleado artículos publicados en revistas con un índice de impacto de Q1 en el año de su publicación, es decir, el más alto. Cabe señalar que los índices de impacto de 2016 y 2017 aún no han sido publicados, por lo que aquellos artículos pertenecientes a esos años han sido seleccionados en función al impacto obtenido por la revista los años 2014 y 2015. Este proceso redujo el número de trabajos obtenidos a 217, que después de eliminar duplicados quedaron en 148.

Por último, como elemento final en el proceso de filtraje, se realizó una lectura de los *abstracts* de dichos artículos para determinar cuáles de ellos eran de mayor interés para el estudio. Una vez acabado este trámite, el número total de artículos seleccionados era de 50.

Una vez realizado el filtraje de artículos se pasó a la fase de obtención de los mismos a través de diferentes medios (búsqueda con la VPN de la universidad, petición por correo y descarga gratuita). Se consiguió obtener el texto completo de todos los artículos a excepción de 2, por lo que el total de artículos disponibles para realizar la revisión ha sido de 48. En la siguiente figura se representa el proceso llevado a cabo para seleccionar los artículos que se van a utilizar para realizar la revisión bibliográfica.

Los artículos obtenidos han sido leídos y clasificados en dos categorías (prevención y recuperación) en función a su con-

tenido; estas dos categorías conformarán la parte central de esta revisión como veremos a continuación.

Búsquedas

- (((ACL injury) AND sport) AND recovery) NOT surgery
- ACL injury AND training
- ((ACL injury) AND rehabilitation) AND sport
- ((ACL injury) AND sport) AND



Gráfico 3. Proceso de filtraje de los artículos obtenidos.

4. PREVENCIÓN

Como hemos visto en la introducción, la RLCA es una lesión relativamente frecuente y muy invalidante. Por este motivo, en el presente epígrafe intentaremos averiguar cómo evitar la incidencia de la misma, a través de los métodos preventivos deportivos.

Para poder crear un marco adecuado y contextualizar nuestro trabajo se hace necesario responder a 2 preguntas básicas: ¿Cuándo suceden las RLCA? ¿Cómo se producen estas lesiones?

Tabla 3. Incidencia de la ruptura de LCA según la edad.

Variables	Statistics for each variable				Odds ratio and 95% CI
	Odds ratio	Lower limit	Upper limit	p-value	
Early Adults (>20 yo)	1.011	0.622	1.643	0.966	
Late Teens (18 - 20 yo)	0.476	0.212	1.071	0.073	
Mid Teens (14 - 18 yo)	0.293	0.194	0.442	0.001	
Early Teens (<14 yo)	0.288	0.012	7.089	0.447	

4.1. ¿Cuándo?

En respuesta a la primera de las preguntas, el riesgo de sufrir RLCA incrementa a partir de los 14 años de manera acentuada. En concreto, las mujeres son más susceptibles de sufrir esta lesión durante el período que va de los 14 y los 18 años. Este hecho se puede observar en la tabla 3³⁶.

Por su parte, Dai et al.⁵ nos ofrecen un gráfico en el que establece el número de casos en función a la edad:

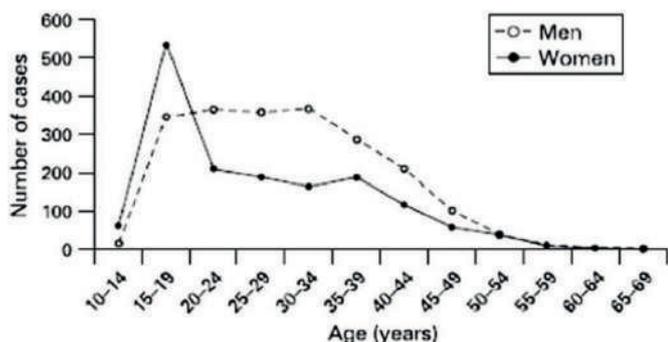


Gráfico 4. Número de casos de ruptura de LCA en función a la edad.

De nuevo, se ratifica que entre los 14 y los 18 años es el periodo más sensible, especialmente para las mujeres.

4.2. ¿Cómo?

En cuanto a la segunda pregunta, según Dai et al.⁴³, el mecanismo de lesión está compuesto de factores extrínsecos (perturbaciones físicas y visuales, fortalecimiento y las interacciones con la superficie) e intrínsecos (anatómico, neuromuscular, hormonal y biomecánico).

Por su parte, Fox et al.³⁷ añade que la lesión sucede cuando se somete al ligamento a una carga superior a la que este puede contrarrestar. Esto sucede normalmente en los movimientos de aterrizaje y cambios de dirección en los gestos deportivos. También se ha observado que suelen ocurrir con el tronco inclinado y extendido en conjunción con un valgo forzado y una rotación de la tibia con la rodilla relativamente extendida^{6,24}.

Además, es importante resaltar que todo el mecanismo sucede en menos de 40 milisegundos después del primer contacto con el suelo; el tiempo de lesión es demasiado rápido y por este motivo resulta muy complejo reaccionar ante dicha situación de manera voluntaria³⁸.

Por esta razón, la mayoría de autores destacan la necesidad de incorporar a los programas de prevención re-entrenamiento neuromuscular para modificar posiciones corporales y patrones de movimiento que puedan resultar lesivos; en muchos trabajos se habla directamente de la aplicación de ENM. Además, resulta lógico pensar que es adecuado aplicar estrategias de prevención (ENM) antes de que los deportistas sean susceptibles de sufrir este tipo de lesiones, es decir desde antes de los 14 años³⁸.

En los siguientes puntos analizaremos qué factores favorecen la aparición del mecanismo de lesión y re-lesión (estaríamos hablando del porqué) así como propuestas de diferentes trabajos para confeccionar un protocolo adecuado de prevención de RLCA.

4.3. Factores de riesgo RLCA

Para poder prevenir la RLCA es necesario conocer cuáles son los factores que aumentan el riesgo de sufrir este tipo lesiones; de esta manera, cuando nos propongamos elaborar un protocolo de prevención siempre tendremos presente que el objetivo principal será eliminar o reducir la incidencia de estos factores, para así reducir el riesgo relativo (en adelante, RRR) de RLCA. En este apartado veremos los factores hormonales, anatómicos, neuromusculares, biomecánicos y ambientales entre otros.

Para Eiroa et al.²⁵ los factores medioambientales, anatómicos, hormonales y genéticos no pueden ser alterados desde el punto de vista práctico. En cambio, consideramos factores modificables aquellos que pueden ser alterados por la intervención humana; en este caso serán factores asociados con la biomecánica y aspectos neuromusculares. Aun así, son muy pocos los estudios que analizan los factores biomecánicos y neuromusculares comparando deportistas post-ReLCA con deportistas sanos.

Factores hormonales

Durante la pubertad se hacen evidentes las diferencias sexuales entre hombres y mujeres, ya que en este periodo se producen una serie de cambios corporales muy acelerados. Dai et al.⁵ destacan que estos cambios tienen especial incidencia sobre las mujeres en el riesgo de sufrir una RLCA como se ha comentado anteriormente (hasta cuatro veces más incidencia sobre estas).

Como es bien sabido, durante este periodo los adolescentes experimentan un gran incremento del peso, las

dimensiones y la longitud de los huesos que suele llevar a unos mecanismos que aumentan el riesgo de padecer una RLCA. La tibia y el fémur crecen rápidamente que provoca un aumento del torque en la rodilla. Además, el aumento de peso conlleva un incremento de las cargas que debe soportar la rodilla⁵.

Existen otros factores de riesgo, que afectan especialmente a las mujeres durante este periodo: se trata del desequilibrio entre la fuerza entre el cuádriceps y el isquiotibiales, el aumento de la laxitud anterior de la rodilla, el aumento de la rotación interna de la rodilla y el aumento del valgo de rodilla, todos ellos serán tratados en los apartados siguientes³⁸.

Cabe señalar que, a diferencia de las chicas, este brote de crecimiento en los chicos va acompañado de un aumento de la fuerza, la potencia muscular y la coordinación. Este hecho provoca que los índices de RLCA entre las chicas adolescentes sean mucho mayores que entre los chicos⁵.

Además, durante este periodo de crecimiento los hombres experimentan un aumento de la rigidez de sus tobillos, rodillas y caderas, derivados de los cambios hormonales y neuromusculares. Los mismos afectan también al torque de abductor de la cadera en los hombres aumentándolo con la edad, a diferencia que las mujeres. Este hecho es determinante para disminuir el riesgo de padecer una lesión de rodilla puesto que una disminución en la fuerza de los abductores de cadera provoca un aumento en el valgo de rodilla, uno de los principales factores²⁴.

Factores anatómicos

De la misma forma que sucedía con los factores hormonales, la disposición anatómica de cada individuo es propia y no puede ser alterada desde la práctica. No obstante, es importante tener en cuenta estos factores para desarrollar estrategias preventivas que mitiguen su efecto a través de otros factores que sí pueden ser alterados (biomecánico, neuromuscular, etc.).

Algunos de los aspectos anatómicos que pueden influir en el riesgo de sufrir una RLCA son:

- El tamaño de la muesca intercondílea, la revisión bibliográfica realizada por Dai et al.⁵ establecen que cuando esta muesca es pequeña (espacio donde se encuentra el LCA) el ligamiento suele ser más débil, además aumenta la elongación del mismo bajo tensión y, por tanto, el riesgo de lesión del mismo.
- Una sobre-pronación en la articulación subastragalina ha sido asociada con un mayor riesgo de sufrir RLCA debido a que aumenta la traslación de la tibia con respecto al fémur, y así, la tensión sobre el LCA⁵.
- A nivel general, la laxitud de las articulaciones y la hiperextensión de la rodilla han mostrado que aumentan determinadamente el riesgo de sufrir RLCA, sobre todo en el caso de las mujeres. Aumentando hasta en 2,7 veces el riesgo de sufrir dicha lesión⁵.

Factores neuromusculares

La gran mayoría de los autores consultados coinciden en que los factores neuromusculares son determinantes en el desencadenamiento de una RLCA y, a la vez, pueden ser modificados desde el entrenamiento/práctica deportiva. Es por este motivo que este epígrafe cobra una importancia especial para el presente trabajo.

La mayoría de autores señalan, como una de los principales factores neuromusculares, los desequilibrios en la fuerza entre piernas. Una disminución o asimetría en la fuerza de los cuádriceps >15% afecta a la ejecución de los patrones de movimiento. Aquellos que presentan un desequilibrio de >20%, muestran un movimiento reducido en el plano sagital de la articulación de la rodilla durante la marcha, cuando se las compara con sujetos con fuerza simétrica (<10%). Cabe señalar que los desequilibrios en la fuerza entre piernas son comunes; así en el estudio de Labella et al¹, centrado en la revisión de gran cantidad de estudios, determinaron que el 44% de los pacientes después de sufrir una RLCA presentaban déficits de >15% de la fuerza en el momento de volver a la práctica deportiva.

En una línea similar, Labella et al.¹, como conclusiones a su trabajo, y después de comparar sujetos con niveles de fuerza diferente, determinaron que los déficits en la fuerza del cuádriceps alteran la mecánica de salto durante el aterrizaje, a diferencia de aquellos que no presentan déficits (grupo control). Aquellos que presentaban déficits mostraron un momento de flexión externo de rodilla reducido, así como el pico de GRF, en cambio en la pierna no lesionada se mostraron valores muy altos en el pico de carga del GRF. Como conclusión se extrae que se produce un aumento de la carga sobre la pierna sana aumentando el riesgo de lesión de esta¹.

Por su parte, tanto Di Stasi et al.³⁹ como Labella et al.¹ destacan que una asimetría en la fuerza entre cuádriceps e isquiotibiales (antagonistas) predice un momento de abducción de la rodilla elevado (KAM); después de analizarlo en saltos con 3D con 205 deportistas se muestra como el predictor de futura RLCA más fiable, es decir, un factor de riesgo que debemos tener en cuenta. Además, los autores destacan que la simetría en la fuerza entre el cuádriceps y el isquio debe ser, comparada con la pierna contralateral, de por lo menos 85%.

Recogiendo los dos factores señalados anteriormente, Dai et al.⁵ concluyen que una activación previa del cuádriceps vs. isquios produce un aumento de la fuerza de cizalla anterior que directamente aumenta la carga sobre el LCA y podría también llevar a un aumento del valgo de rodilla dinámico durante el contacto inicial en los movimientos de corte o pivote, uno de los elementos biomecánicos de mayor riesgo (como veremos a continuación).

En muchos de los trabajos revisados también se destaca la importancia del control neuromuscular del tronco. Ejemplo de ello es el trabajo Di Stasi et al.³⁹ en el que se establece que la incapacidad para volver a posicionar el tronco de forma activa se muestra como uno de los predictores de riesgo de lesión en mujeres, mostrando una sensibilidad del 86%. De la misma manera, un control

neuromuscular pobre de la cadera y la rodilla así como déficits posturales han demostrado ser factores de riesgo de LCA^{39 5 60}.

Como resumen de este apartado cabe destacar la importancia de un desarrollo simétrico de la fuerza tanto entre músculos antagonistas (cuádriceps e isquío) como entre ambas piernas, así como mejorar el control neuromuscular del tronco y las articulaciones (rodilla y cadera), para asegurar patrones biomecánicos adecuados y reducir el riesgo de RLCA.

Factores biomecánicos

Es de vital importancia conocer los factores biomecánicos de riesgo de LCA para poder actuar sobre ellos. Como hemos visto en el apartado anterior los factores neuromusculares afectan a la biomecánica por lo que ambos epígrafes están estrechamente ligados.

Antes de continuar con el epígrafe, se hace necesario hacer una clarificación conceptual sobre un término que va a ser muy utilizado, *ground of reaction force* (en adelante, GRF). Se trata de un concepto físico que tiene gran aplicación desde el punto de vista biomecánico y que, hace referencia a la fuerza ejercida por el suelo sobre un cuerpo en contacto con él⁴⁰. Por ejemplo, una persona que permanece inmóvil en el suelo ejerce una fuerza de contacto sobre él (igual al peso de la persona) y al mismo tiempo una fuerza de reacción del suelo igual y opuesta es ejercida por el suelo sobre la persona. Por tanto, si la persona no se limita a permanecer inmóvil en el suelo y realiza un salto, en el momento de contacto con el suelo esta fuerza ejercida por el mismo será igual al peso de la persona más su aceleración⁴¹⁻⁴³.

Para mejorar la comprensión de que aspectos biomecánicos pueden afectar al riesgo de padecer un LCA durante la práctica deportiva los dividiremos en dos apartados en función al plano de movimiento en el que se observan: sagital o frontal.

Desde el punto de vista sagital

Los autores del trabajo Clarke et al.⁴⁴ destacan que los aterrizajes realizados con la pierna extendida son un factor de riesgo potencial puesto que el LCA se encuentra elongado en el momento de contacto. Además, aumentar el ángulo de flexión de la rodilla durante el aterrizaje llevó a un pico vertical y posterior de cizalla del GRF menor. En cambio, aterrizar con un mayor ángulo de flexión de rodilla indujo mayores picos de momento de cuádriceps y el isquiotibial disminuyó. Estos hallazgos sugieren que la habilidad de los músculos para actuar como estabilizadores dinámicos cambia en función a la posición de la rodilla. En resumen, los aterrizajes con la rodilla extendida son el principal riesgo de padecer una RLCA, puesto que se aumenta el GRF y el momento de cuádriceps puede promover la extensión de la pierna, lo que produce la elongación del LCA como hemos visto.

Una posible hipótesis para explicar la tendencia a realizar aterrizajes con la pierna extendida podría ser la diferencia entre la activación y la fuerza entre cuádriceps-isquío (nombrada en el apartado anterior). Es decir, existe una mayor

activación de los cuádriceps y hay mayor riesgo de que el LCA se encuentre elongado.

Por otro lado, la mayoría de trabajos consultados confirman que aterrizar con ambas piernas es más seguro que hacer solo con una, para prevenir la RLCA sin contacto. Esto se debe a que el mecanismo de disipación de la energía es mejor, solo con una pierna el GRF es mucho mayor. Los autores demostraron que aterrizar con las dos piernas hubo una mayor disipación por parte de la rodilla y de la cadera; en cambio, al aterrizar sobre una pierna, la disipación se llevó a cabo a través de la cadera y el tobillo. Por tanto, es más efectivo aterrizar con ambas piernas ya que representan un factor de mayor protección⁴⁴.

Parece obvio pues que, si se busca reducir la incidencia de RLCA, es imperativo reducir la carga sobre la articulación de la rodilla durante la práctica de actividades específicas como los saltos y cortes laterales⁴⁵. Es decir, podemos concluir que se hace necesario disminuir el GRF en el aterrizaje. Para ello deberemos modificar los patrones biomecánicos habituales por otros que disipen mejor la fuerza, o aumentar los niveles de fuerza de las articulaciones implicadas.

Desde el plano frontal /coronal

En este apartado, el factor clave es el momento de abducción de rodilla, que tiene especial incidencia sobre el grado de valgo de rodilla (como hemos visto en los factores hormonales). Son muchos los autores que afirman que un excesivo valgo de rodilla (ángulo) conllevará momentos de valgo alto durante los aterrizajes de los saltos, circunstancia que supone uno de los predictores principales del RLCA sin traumatismo^{46 4 8 35 47}.

Por su parte, Clarke et al.⁴⁴, analizó los ángulos del valgo de rodilla, que están directamente relacionados con la translación lateral y anterior de la tibia durante el aterrizaje. El pico de translación ocurre durante los primeros 50 ms del aterrizaje. Por este hecho, ante la imposibilidad de una reacción consciente, será de vital importancia mejorar los patrones biomecánicos, como veremos en el siguiente punto⁴⁴.

Por otra parte, durante los movimientos de corte los momentos de rodilla son mucho más altos durante las tareas de corte que, por ejemplo, durante la marcha.

En el mismo estudio, Clarke et al.⁴⁴ utilizan el paso lateral de corte para evaluar el estrés sobre el LCA. La media (desviación estándar) de rotación de la tibia fue de 19,8° (5,6°). Los autores concluyeron que aunque la rotación interna de la tibia se dio en la rodilla, no era máxima. No tan extrema como la que se da en la fase de swing en asociación a un mayor ángulo de flexión de rodilla. Este movimiento no supone un gran riesgo de RLCA en hombres. En este mismo trabajo, se llegó a la hipótesis de que las RLCA durante este movimiento deben ser producto de la incapacidad para controlar la rotación interna de la tibia por la rodilla⁴⁴.

Otro estudio recopilado por Clarke et al.⁴⁴ concluyó que técnicas que consisten en posicionar el pie lejos de la lí-

nea media y la flexión lateral del tronco al lado contrario que la dirección del movimiento de corte producen picos del momento de valgo más grandes. También se detectó un aumento del pico de la rotación interna de la rodilla durante el mismo movimiento⁴⁴.

Por otro lado, con el pie rotado internamente, se producen menores momentos de flexión-extensión. La rotación del pie en cualquiera de las direcciones acaba afectando a la carga que soporta el LCA⁴⁴.

Parece obvio pues que, si se busca reducir la incidencia de RLCA, es imperativo reducir la carga sobre la articulación de la rodilla durante la práctica de actividades específicas como los saltos y cortes laterales⁴⁵. Es decir, podemos concluir que se hace necesario disminuir el GRF en el aterrizaje. Para ello deberemos modificar los patrones biomecánicos habituales por otros que disipen mejor la fuerza, o aumentar los niveles de fuerza de las articulaciones implicadas.

Desde el plano frontal /coronal

En este apartado, el factor clave es el momento de abducción de rodilla, que tiene especial incidencia sobre el grado de valgo de rodilla (como hemos visto en los factores hormonales). Son muchos los autores que afirman que un excesivo valgo de rodilla (ángulo) conllevará momentos de valgo alto durante los aterrizajes de los saltos, circunstancia que supone uno de los predictores principales del RLCA sin traumatismo^{46 4 8 35 47}.

Por su parte, Clarke et al.⁴⁴, analizó los ángulos del valgo de rodilla, que están directamente relacionados con la translación lateral y anterior de la tibia durante el aterrizaje. El pico de traslación ocurre durante los primeros 50 ms del aterrizaje. Por este hecho, ante la imposibilidad de una reacción consciente, será de vital importancia mejorar los patrones biomecánicos, como veremos en el siguiente punto⁴⁴.

Por otra parte, durante los movimientos de corte los momentos de rodilla son mucho más altos durante las tareas de corte que, por ejemplo, durante la marcha.

En el mismo estudio, Clarke et al.⁴⁴ utilizan el paso lateral de corte para evaluar el estrés sobre el LCA. La media (desviación estándar) de rotación de la tibia fue de 19,8° (5,6°). Los autores concluyeron que aunque la rotación interna de la tibia se dio en la rodilla, no era máxima. No tan extrema como la que se da en la fase de swing en asociación a un mayor ángulo de flexión de rodilla. Este movimiento no supone un gran riesgo de RLCA en hombres. En este mismo trabajo, se llegó a la hipótesis de que las RLCA durante este movimiento deben ser producto de la incapacidad para controlar la rotación interna de la tibia por la rodilla⁴⁴.

Otro estudio recopilado por Clarke et al.⁴⁴ concluyó que técnicas que consisten en posicionar el pie lejos de la línea media y la flexión lateral del tronco al lado contrario que la dirección del movimiento de corte producen picos del momento de valgo más grandes. También se detectó un aumento del pico de la rotación interna de la rodilla durante el mismo movimiento⁴⁴.

Por otro lado, con el pie rotado internamente, se producen menores momentos de flexión-extensión. La rotación del

pie en cualquiera de las direcciones acaba afectando a la carga que soporta el LCA⁴⁴.

Efecto de la fatiga

En el mismo estudio también se investigaba cómo podía influir la fatiga en el patrón de movimiento. En este se concluyó que los hombres tenían aumentos significantes en el pico de fuerzas de cizalla de la parte proximal de la tibia, en el momento de valgo y un descenso de los ángulos de flexión de rodilla durante el aterrizaje cuando realizaban ejercicios de salto con fatiga. También presentaban una mayor abducción de rodilla y un desplazamiento en rotación interna en falta^{44 61}.

La fatiga hizo que los deportistas aterrizaran con menores momentos de extensor de rodilla y cadera así como pico de abducción de rodilla/momento valgo, pero un mayor momento de dorsiflexión del tobillo. Además, la fatiga causa cambios cinéticos y cinemáticos que están altamente relacionados con el riesgo de RLCA^{44 61}.

Factores ambientales

Los factores ambientales (estímulos externos) no pueden ser aislados, es más, son impredecibles e incontrolables. No obstante, desde el punto de vista práctico se puede entrenar la capacidad de adaptación y reacción frente a los mismos. Por este motivo es necesario conocer su incidencia sobre la lesión de RLCA.

En el trabajo de Clarke et al.⁴⁴ se establece que la mayoría de RLCA suceden durante la participación en partidos, en concreto, es 4 veces más alta que durante los entrenamientos. Esto nos hace pensar que durante las situaciones de juego se incorporan una serie de elementos que hacen más proclives las RLCA; por este motivo, deberemos analizar estos elementos (velocidad, tiempo de reacción, rivales, etc.) para tratar de incorporarlas en nuestro entrenamiento.

Entre estos elementos, la toma de decisiones juega un rol determinante en la prevención de las RLCA sin contacto. En el estudio, se demostró que las situaciones no anticipadas en el contacto inicial se produjo una inferior flexión de cadera y rodilla, un menor abducción y un aumento de la flexión plantar del tobillo en el salto así como una menor abducción de cadera y flexión plantar de tobillo durante el aterrizaje en comparación con las acciones planeadas con anterioridad⁴⁴.

También se concluyó que los deportistas llevaron a cabo una menor rotación externa de cadera durante el primer contacto con el suelo en situaciones anticipadas que en en aquellas no anticipadas. Un mayor pico de momento de valgo de rodilla se mostró durante las actividades de corte/cambio de dirección en situaciones no anticipadas si lo comparamos con anticipadas⁴⁴.

A nivel general, durante las situaciones en condiciones anticipadas, la activación muscular fue selectiva y específica para estabilizar; en cambio, en condiciones no anticipadas la contracción muscular no era selectiva, se trataba de una contracción generalizada⁴⁴.

Todos los aspectos señalados establecen que existe un mayor riesgo de lesión de RLCA durante las situaciones no anticipadas. Por tanto, se puede extraer que resultará importante entrenar la capacidad de reacción ante situaciones no esperadas para optimizar los patrones de movimiento de los deportistas frente a estas.

Otro de los elementos que juega un papel determinante es la *superficie de juego* sobre la que se realiza la práctica. Los resultados de uno de los artículos revisados por Clarke et al.⁴⁴ sugieren que la hierba artificial aumenta el riesgo de padecer RLCA comparada con la hierba natural. Además, se concluyó que la artificial provoca un pico de presión en la parte central del pie y menor en los dedos del pie respecto a la natural así como un GRF mayor y, por tanto, un riesgo mayor de RLCA⁴⁴.

Por último, se destaca que cuanto más rígida es una superficie (hormigón fratasado o hormigón poroso), menos ayuda a disipar la fuerza de aterrizaje, aumentando el GRF y con este, el riesgo de RLCA. En cambio, aquellas superficies más "blandas" como el tartán, la resina, el parqué o la arena, ayudan a disipar la fuerza de aterrizaje reduciendo el GRF y así el riesgo RLCA.

Otros factores

Existen otros factores que tienen efecto en la prevención de lesiones de RLCA como es el caso de los vendajes de refuerzo o las exigencias competitivas.

En uno de los estudios analizados por Clarke et al.⁴⁴ se concluye que el vendaje de tobillo redujo el pico de rotación interna de rodilla y los momentos de varo durante la marcha así como durante los movimientos de corte tanto en situaciones anticipadas como no anticipadas⁴⁴.

Por otro lado, los deportistas que llevaban un vendaje protector de sujeción en la rodilla aterrizaban con un pico vertical de GRF considerablemente inferior que aquellos que lo hacían sin refuerzo⁴⁴.

Por último, el estudio Krutsh et al.²³ analiza los factores derivados de las exigencias competitivas. Algunos de estos factores pueden influir en el aumento del riesgo de lesión; ejemplo de ello son los cambios rápidos en la propiocepción o el aumento del impacto; por ejemplo, al aumentar la carga de entrenamiento al subir a una liga superior en la que se exija más intensidad. El estudio se llevó a cabo con 249 jugadores de fútbol que comenzaron a participar en una liga superior. Como resultados se demostró que aquellos jugadores (nuevos profesionales) que accedían a la liga mostraban mayor porcentaje de lesiones de LCA que aquellos que ya estaban en la liga. El 90% (19 de 21) de las RLCA se dieron en pre-temporada y las sufrieron los nuevos profesionales (habían jugado una liga no profesional la temporada anterior)⁴⁵.

4.4. Factores riesgo de re-lesión

En este epígrafe se abordarán aquellos factores que suponen el principal riesgo o un indicador fiable de re-lesión de LCA, ya sea en la misma rodilla o en la pierna contraria. Es posible que algunos de los factores nombrados anterior-

mente se repitan debido a que el mecanismo de lesión sigue siendo el mismo; no obstante, cobrarán mayor importancia otros factores debido a las nuevas condiciones de la articulación.

Como consecuencia de una RLCA y una posterior ReLCA en muchos de los casos se ven alterados los patrones de movimiento. Estas alteraciones producen una carga desigual entre las articulaciones así como técnicas poco económicas durante la práctica deportiva que conlleva riesgos para el LCA.

En este sentido, en el trabajo de Clarke et al.⁴⁴ se expone, a través de esta Tabla 4, la evidencia existente sobre las consecuencias biomecánicas y neuromusculares que derivan de una RLCA:

Tabla 4. *Consecuencias biomecánicas y neuromusculares derivadas de la RLCA.*

Parameter	ACL injury consequences
Biomechanical	
Walking	Step length and walking base were smaller compared with uninjured knee [55, 56] Higher peak knee flexion during walking [6] Lower knee extensor moment [5]
Neuromuscular	
Muscle activation	Decreased volitional activation of quadriceps in both the injured and uninjured sides [96-98] ACL mechanical stimulation elicits short- and medium-latency hamstring reflexes [42]
Muscle strength	ACL mechanical stimulation elicits smaller hamstring reflexes than anterior tibial translation [41, 42] Quadriceps and hamstring strength deficit [93, 94], worst for the quadriceps [93] Greater side-to-side asymmetry for quadriceps than hamstrings [94]
Atrophy	Slight significant hypertrophy of hamstrings [62] Quadriceps atrophy [62] No correlation between quadriceps atrophy and loss of isokinetic strength [62]
Balance	More anterior and medially positioned COP relative to the foot before initiation of static balance [91]

En una línea similar, Goeger et al.⁴⁶, demuestran que las lesiones de LCA y sobre todo la ReLCA causan alteraciones de los patrones de movimiento entre ambas piernas (afectada y no afectada). Estas alteraciones conllevan un riesgo superior de sufrir una nueva lesión en el futuro por lo que los protocolos de readaptación se deberán centrar en tratar de reducir las modificaciones causadas.

Por su parte, Di Stasi et al.³⁹ establece que 4 años después de sufrir una ReLCA se siguen observando alteraciones en las estrategias de atenuación y generación de fuerza debido a la alteración de patrones de movimiento. También se observan asimetrías cinéticas entre rodillas y cadera. Lo que ratifica la importancia de incidir sobre este aspecto para tratar de prevenir las lesiones de LCA.

El segundo de los factores señalado por la mayoría de autores es el déficit o asimetría en la fuerza. Este factor se encuentra estrechamente relacionado con el primero de los factores señalados, puesto que después de la ReLCA

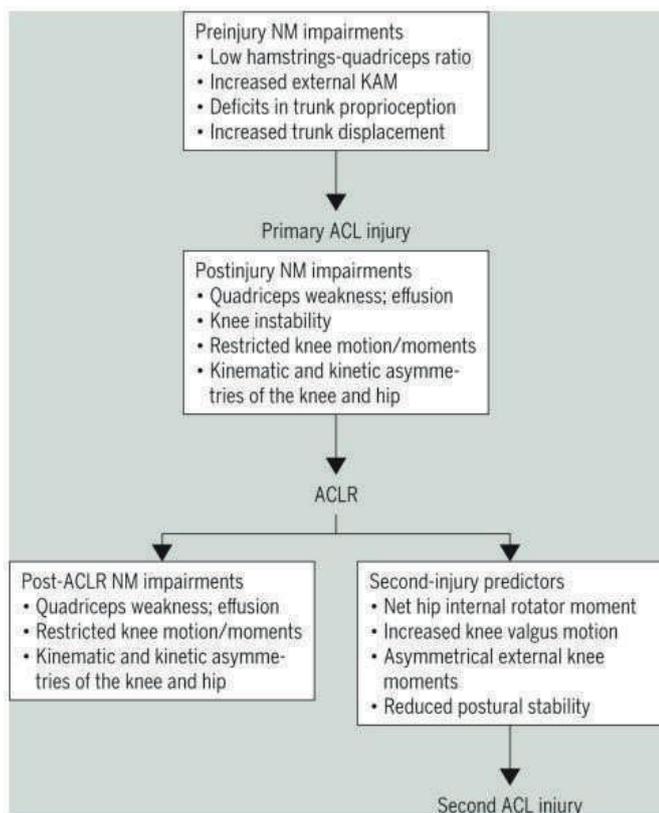


Gráfico 5. Principales impedimentos NM en cada etapa.

se suelen presentar déficits de fuerza en la rodilla afectada, lo que supone una asimetría entre ambas extremidades y, acaba forzando a una modificación de los patrones de movimiento, principalmente durante el aterrizaje en los saltos.

En este sentido, Grindem et al.⁴⁷ establecen que es necesario medir la fuerza del cuádriceps para determinar el momento de vuelta a la práctica deportiva puesto que una fuerza asimétrica supondría una alteración de la biomecánica de la rodilla durante los saltos y este supone uno de los factores de riesgo de re-lesión.

Por su parte Di Stasi et al.³⁹, establece que la asimetría entre cuádriceps e isquiotibiales es una de las variables clave para

el riesgo de primer ACL, pero la relación con el segundo RLCA no está analizada.

En una línea similar Labella et al.¹ encontraron riesgos de re-lesión factores biomecánicos, de los cuáles la asimetría de fuerza entre piernas en el plano sagital de la rodilla se mostró el mejor predictor.

Además, después de realizar un estudio longitudinal durante 1 año con 13 deportistas expone 4 predictores biomecánicos de riesgo de re-lesión; el modelo mostró una excelente capacidad de predicción de la lesión revelando una especificidad del 88% y una sensibilidad del 92%³⁹:

- Momento de rotación interna de la cadera no afectada durante el aterrizaje.
- Aumento del movimiento de la rodilla en el plano frontal durante el aterrizaje.
- Asimetrías en el plano sagital de la rodilla durante el primer contacto.
- Déficits en la estabilidad postural.

Di Stasi et al.³⁹ también realizan una revisión bibliográfica de la que se extrae un gráfico muy aclarativo (Gráfico 5) sobre la diferencia entre los principales factores de riesgo entre la primera y la segunda lesión, así como los principales impedimentos NM en cada una de las etapas. He considerado interesante introducirlo puesto que es muy claro para decidir qué medidas preventivas debemos adoptar (contenido del siguiente apartado).

Por su parte, a modo de resumen, encontramos una tabla (Tabla 5) en la que se resumen diferentes propuestas para tratar de determinar posibles impedimentos neuromusculares derivados de ReLCA³⁹.

4.5. Entrenamiento a llevar a cabo para prevenir la lesión

En este apartado se van a analizar diferentes propuestas de entrenamiento preventivo centrado en evitar la incidencia de la RLCA.

Tabla 5. Impedimentos NM derivados de la ReLCA.

Assessment Method	Impairments Assessed	Clinically Important Cutoff Criteria	Evidence for Clinical Applicability
Thigh muscle dynamometry	Quadriceps and hamstrings side-to-side symmetry; hamstrings-quadriceps ratio	90% or greater ¹³⁴	1. Athletes who underwent ACLR and had at least 90% quadriceps strength index (side-to-side symmetry) demonstrated functional performance similar to uninjured control subjects ¹³⁴ 2. Female athletes who went on to sustain a primary ACL rupture had decreased hamstrings-quadriceps ratios compared to male controls ²⁶
Single-leg hop tests	Dynamic, sports-related knee function side-to-side symmetry	90% or greater ¹⁴⁰	1. Limb-symmetry indexes on single-leg hop for distance, triple hop for distance, and crossover hop for distance differed between controls and athletes who had ACLR ²⁰⁸ 2. Symmetry on the triple hop for distance was the most strongly correlated to self-reported function of the 4 hop tests ²¹⁸
Tuck jump	Trunk and lower extremity asymmetry and quality of mechanics	Perfect score of 80 points (no asymmetries or abnormalities) ¹⁰⁷	1. Feedback provided on tuck jump technique reduces knee abduction motion during the drop-vertical jump ¹⁰⁹
Drop-vertical jump	Sagittal and frontal plane knee mechanics	Greater than 60% normalized knee separation distance ⁷	1. Sagittal and frontal plane knee motion during a drop-vertical jump is part of a clinical algorithm that accurately predicts high external knee abduction loads ⁸³
Patient-reported outcomes	Patient perception of function, symptoms, sport-related disability	90% or greater ¹	1. IKDC scores were lower in athletes who underwent ACLR compared to controls, and lowest in the athletes with strength asymmetries greater than 15% ¹³⁴ 2. Use of self-reported outcomes is advised as part of a battery of tests to determine functional status following acute ACL injury ^{36,44} and readiness to return to sport following ACLR ¹

Entrenamiento neuromuscular

La mayoría de autores coincide en que el entrenamiento neuromuscular (en adelante, ENM) es uno de los métodos más eficaces para prevenir la RLCA. Muestra de ello son los siguientes estudios:

En la revisión llevada a cabo por Noyes et al.³⁸ se analizan un total de 8 programas de prevención con el objetivo de analizar qué componentes incluyen cada uno y determinar cuáles son más efectivos para la prevención del riesgo de rotura de LCA. De los 8 programas revisados, 3 reducían significativamente el número de RLCA sin contacto [Sportsmetrics (2009+2012), PEP (2005) y KIPP (2011)], consiguiendo una reducción del riesgo relativo entre el 75% y el 100%. Estos tres protocolos de intervención hacían especial énfasis en el entrenamiento neuromuscular, por lo que se demuestra la importancia de este para la reducción de RLCA sin contacto, especialmente entre mujeres adolescentes.

Esto se debe a que, como hemos visto en anterioridad, la lesión ocurre en un espacio de tiempo muy corto, por lo que es imposible que el mecanismo de prevención utilizado sea voluntario. Por eso, Dai et al.⁵ proponen reprogramar patrones de movimiento más seguros (entrenamiento neuromuscular) para reducir el riesgo de sufrir lesiones durante los movimientos del deporte (pivotes, cortes, cambios de dirección, etc.).

En la misma línea, Sugimoto et al.⁸, a través de un estudio con jugadores de fútbol, determinan que se puede conseguir una reducción del riesgo relativo (RRR) de LCA de hasta 73,4% aplicando protocolos de ENM mientras que solo de hasta el 29,4% cuando se llevan a cabo calentamientos estándar. Resulta evidente, pues, que obvio pues que dentro de la planificación de las sesiones es imprescindible introducir este tipo de trabajos.

Además, Sugimoto et al.⁶ establecen que existen estudios que muestran como el ENM es capaz de reducir la incidencia de la RLCA del 3 al 1.1%. Además, Di Stasi et al.³⁹ afirman que el ENM puede disminuir el RRR del primer LCA entre 43% y 73%. En cambio, el efecto de los programas sobre el RRR de segunda lesión no ha sido investigado.

En una línea similar el ENM especializado llamado "reduce lesión y aumenta el rendimiento", analizado en Eiroa et al.²⁵ demostró que podía reducir en un 88% el riesgo relativo de sufrir una lesión. Después de realizar un meta-análisis con diferentes estudios se llegó a la conclusión que el ENM tiene un 46% más de efecto RRR sobre aquellos que se les aplica respecto con un grupo de control.

Hasta este punto, queda claro que son muchos los autores que destacan el entrenamiento neuromuscular como uno de los métodos capaces de reducir el riesgo de sufrir una RLCA de manera eficaz. No obstante, hay infinidad de variables para su aplicación, a continuación veremos diferentes propuestas para su aplicación.

¿Cómo aplicar el ENM?

Son muchas las variables modificables dentro de un protocolo de ENM. Es de vital importancia conocerlas y saber cómo modificarlas para que el protocolo que diseñemos tenga el mayor efecto posible en la prevención de la RLCA. En este sentido, hemos recopilado las principales aportaciones al respecto:

Los trabajos de Sugimoto et al.³⁶, Sugimoto et al.⁸ y Eiroa et al.²⁵ son revisiones en las que se analizaron gran cantidad de trabajos con el fin de determinar las variables clave dentro del ENM (tipo y número de ejercicios, nivel de adherencia/implicación, frecuencia, carga, etc.) con el obje-

Tabla 6. Aportaciones más destacadas en cuanto al tipo de ejercicios.

TIPO DE EJERCICIOS	
Estudio	Aportación
Sugimoto et al. ⁴	Abogan por la aplicación de <i>ejercicios de fortalecimiento de la rodilla y de control proximal</i> , ya que muestran una mayor efectividad para reducir el riesgo de LCA. Además, también se recomienda la incorporación de ejercicios destinados al <i>fortalecimiento de la cadena posterior y los estabilizadores del tronco</i> a través de ejercicios pliométricos puesto que optimiza los resultados del ENM para reducir el riesgo de RLCA.
Sugimoto et al. ⁸	Determina que los <i>ejercicios de fuerza</i> presentan un mayor porcentaje de RRR de LCA frente aquellos que no los incluían; lo mismo sucede con aquellos protocolos que incorporan <i>ejercicios de control proximal</i> . De manera más específica, recomienda incorporar el fortalecimiento de los isquiotibiales para contrarrestar la fuerza ejercida por el cuádriceps (antagonista) y disminuir la fuerza de cizalla sobre la tibia. Pese a no ser significativo estadísticamente, los programas que incorporan ejercicios pliométricos conseguían unos mayores porcentajes en el RRR de LCA, esto se debe a que este tipo de ejercicios consiguen disminuir entre un 17-26% el GRF, lo cual supone uno de los factores de riesgo citados anteriormente.
Dai et al. ⁵	Afirman que introducir ejercicios de fortalecimiento permite disminuir la translación anterior de la tibia. Esto se puede conseguir en un 30-40% sin estabilizar la contracción de los cuádriceps, isquiotibiales y gastrocnemios. En cambio con la activación y fortalecimiento de estos músculos se puede llegar hasta el 70-85%. Además, concluye que la combinación del entrenamiento pliométrico con el técnico aportando el feedback adecuado (epígrafe siguiente) fueron los componentes que demostraron un mejor efecto para reducir los índices de lesión a través de su incidencia sobre el GRF.
Benjaminse et al. ⁴⁸	Sostiene que un entrenamiento de equilibrio de 7 semanas puede disminuir el GRF durante el aterrizaje de un salto monopodal.

Tabla 7. Aportaciones más destacadas en relación a la carga.

CARGA DE ENTRENAMIENTO	
Estudio	Aportación
Sugimoto et al. ³⁶	Concluyó que cuanto más tiempo invertido y más frecuentemente, inferior es el riesgo de sufrir RLCA. En concreto, el estudio afirma que se puede reducir el riesgo de lesión hasta en un 70% aplicando un ENM de 30 minutos dos días por semanas durante la temporada.
Eiroa et al. ²⁵	En relación a la <i>frecuencia</i> llegó a la conclusión que aquellos grupos con más de una sesión semanal mostraban mejores resultados en RRR, hasta un 27% menos de riesgo. En función al <i>volumen</i> también se estableció mejores rangos de RRR cuando el volumen de las sesiones de ENM era alto, hasta en un 86% de reducción, mientras que en los grupos de bajo volumen oscila entre 44 y 54%.

tivo de conseguir la máxima reducción posible en el riesgo de lesión.

Por un lado, se analizó el tipo de ejercicios y su número. Como resultado, el estudio Sugimoto et al.⁴ determina que aquellos estudios que proponían programas de intervención con *más de un ejercicio* muestran un efecto preventivo mayor frente a los estudios que únicamente proponen un único ejercicio. En relación al tipo de ejercicios a aplicar, hemos realizado una tabla (Tabla 6) con las aportaciones de los estudios más destacados.

Por otro lado, estos estudios analizaron la organización del entrenamiento, es decir, su frecuencia, volumen y carga. En este sentido, Eiroa et al.²⁵ afirman que un posible fallo en la consecución de los objetivos puede deberse a la realización de sesiones demasiado cortas de ENM. Es más, sesiones largas de ENM conllevaron mejores índices RRR RLCA, hasta un 26% menos de riesgo. Muchos de los estudios aprovecharon la pretemporada para aplicar estas sesiones más largas puesto que durante la temporada resulta muy complejo. Además, teniendo en cuenta que los deportistas necesitan tiempo para adquirir patrones neuromusculares resulta lógico introducir un volumen considerable de este trabajo durante la pretemporada.

En la Tabla 7 se resumen las aportaciones de los distintos estudios en relación a la organización del entrenamiento.

Antes de finalizar este epígrafe consideramos esencial comentar los resultados obtenidos por Zebis et al.⁴⁶. En su estudio, aplicaron un protocolo de entrenamiento de dificultad progresiva. El objetivo principal de los ejercicios era *eleva la percepción (propiocepción) y el control motor de la cadera, de las rodillas y de los tobillos*. En el siguiente enlace se pueden observar todos los ejercicios/programas propuestos por el equipo de investigación y su progresión para cada uno de los deportes: <http://www.klovavskade.no/no/Skadefri/Handball2/OEO>. Se aplicó el protocolo tres días por semana durante 12 semanas con una duración total de las sesiones de aproximadamente 15 min a un grupo y se seleccionó otro como grupo de control.

Al finalizar el protocolo se midió la pre-actividad neuromuscular de los cuádriceps y del tendón de la corva durante la realización de un movimiento de cambio de dirección estandarizado con la ayuda de un electromiógrafo (EMG). También se analizó el ángulo del valgo de rodilla en el momento del contacto inicial con software de análisis del movimiento 3D y la fuerza del tendón de la corva con un

dinamómetro portátil. Como resultado se observó que la diferencia significativa de pre-activación neuromuscular (0-10 ms) entre el cuádriceps y el isquiotibial era un 43% EMG máxima inferior respecto al grupo de control (como se observa en el gráfico 6), este hecho es determinante puesto que el mecanismo de lesión sucede dentro de esa fracción de tiempo. En el grupo control la pre-activación neuromuscular presenta una gran diferencia en favor del cuádriceps, siendo esta asociada con un alto riesgo de RLCA; por esta razón, los autores concluyen que este protocolo disminuye la diferencia de pre-activación agonista-antagonista (cuádriceps - isquiotibial) y supone una mayor protección del LCA. No obstante, cabe destacar que la muestra empleada en este estudio está lejos de ser representativa (ENM n = 20, CON n = 20) por lo que los datos obtenidos deben verificarse en estudios posteriores.

Con todo lo señalado hasta el momento, y a modo resumen de las aportaciones realizadas por los diferentes estudios consultados, podemos establecer que hasta el 68% de las RLCA sin contacto pueden ser evitadas si se aplica un programa de ENM que cumpla con las siguientes *condiciones*:

- Sesiones de más de 20 minutos.
- Varias sesiones a la semana (2 a 4).
- Las sesiones deberán incluir más de un tipo de ejercicio.

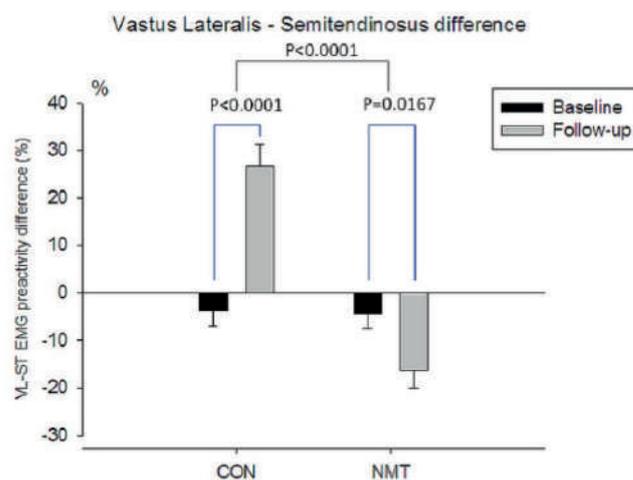


Gráfico 6. Diferencias de la pre-actividad muscular entre el cuádriceps e isquiotibial durante la realización de movimientos de cortes.

- Deben incluirse ejercicios de fortalecimiento de la articulación de la rodilla que nos permitirán reducir los déficits y disminuir asimetrías (factores de riesgo), y así, evitar alteraciones en los patrones de movimiento.
- Los ejercicios pliométricos parecen una buena forma de trabajar la fuerza debido a su gran transferencia con las acciones de juego y su utilidad para reducir el GRF (factor de riesgo).
- Deben incluirse ejercicios de equilibrio monopodal que permiten reducir el GRF durante el aterrizaje (factor de riesgo).
- Es recomendable aumentar la percepción (propiocepción) y el control motor de la cadera, de las rodillas y de los tobillos para igualar los niveles de pre-activación entre cuádriceps e isquiotibiales.

Entrenamiento para prevenir la re-lesión

De la misma forma que sucedía con los factores de riesgo, a la hora de establecer un protocolo de prevención de re-lesión de LCA, cabe tener en cuenta algunas particularidades propias del estado anatómico de la rodilla y de la motricidad en general después de una ReLCA.

En relación a este aspecto el trabajo Di Stasi et al.³⁹ hace una aportación muy interesante, ya que presenta una propuesta de intervención para poder minimizar los riesgos de sufrir una segunda RLCA, dividida en 4 fases:

1. Dominar los componentes técnicos básicos, a través del control en todos los planos de las extremidades y el tronco.
2. Integrar componentes adicionales a las tareas sin que suponga un compromiso para la técnica.
3. El deportista es capaz de superar la pérdida de equilibrio y actúa bajo condiciones inestables.
4. Movimientos rápidos, explosivos, precisos y con una respuesta veloz frente a estímulos, sin feedback del instructor.

Dichos objetivos se ponen en práctica a través de una propuesta detallada de prevención (en el apéndice 1). Además, en la Tabla 8 se resume la propuesta, sus objetivos y las componentes más comunes de las tareas:

En esta propuesta de intervención se ha puesto un énfasis especial en tratar de paliar los déficits neuromusculares comentados con anterioridad, todos ellos posibles factores de lesión de LCA³⁹.

En relación al momento de rotación de la cadera se proponen ejercicios que demanden una gran extensión de cadera, además grandes ángulos de flexión de la cadera y así estimular grandes contracciones de la musculatura que nos interesa: extensores de la cadera, abductores y los rotadores externos.

Por otra parte, con el objetivo de mejorar el ángulo de la rodilla en el plano frontal durante el aterrizaje, se proponen ejercicios que potencien la musculatura del isquiotibial, además de mejorar el control de la rodilla también es agonista del LCA. También se emplearán ejercicios pliométricos y de estabilización dinámica.

Por último, con el propósito de mejorar los ángulos de la rodilla en el plano sagital la progresión propone ejercicios que supongan flexiones profundas de rodilla como manera de introducir grandes torques a la rodilla reconstruida y así promover la mejora de la simetría en la fuerza entre ambas rodillas. Además, estos ejercicios ayudarán al deportista a recuperar reclutar musculatura posterior de la cadera. Una de las características de las mujeres durante la maduración es la predominancia de los cuádriceps frente a la musculatura antagonista (isquiosural), esto debe ser paliado a través del entrenamiento con saltos (Apéndice 1).

El feedback (retroalimentación)

Además de los aspectos nombrados en anterioridad para la prevención de la lesión y re-lesión de LCA (organización del entrenamiento, ejercicios a aplicar, etc.) es imprescindible abordar el uso del feedback durante estos protocolos. Todos los ejercicios, independientemente de su tipo, propuesta a la que pertenecen u objetivo que pretenden alcanzar, están sujetos a ser modificados a través del feedback que se les aplica; por tanto, es esencial conocer cómo puede influir sobre las propuestas de entrenamiento preventivo. Debido a este motivo, hemos considerado adecuado incluir un apartado únicamente destinado a esta temática.

El primero de los aspectos a tener en cuenta a la hora de aplicar el feedback es el foco de atención del mismo, que puede ser interno o externo.

Tabla 8. Ejercicios y objetivos para cada fase.

Phase	Common Task Components	Goal
1	Usually a 2-legged task or a unidirectional single-leg task	Master basic component technique; control out-of-plane motions of extremities and trunk
2	Double- to single-leg transition; decreasing stability of support surface; narrowing base of support	Integrate additional component of task without compromise of technique
3	Introduction of second perturbation to the athlete's neuromuscular system (ie, Airex plus ball catch)	Athlete is able to avoid loss of balance or form under perturbed conditions
4	Multidirectional tasks that demand explosive movements and quick repetition; unstable surfaces and destabilizing perturbations	Quick, explosive, precise movements with rapid response to perturbations and without feedback from instructor

Tabla 9. Comparación de las instrucciones verbales con foco interno y foco externo.

Type of Exercise	Instruction With Internal Focus	Instruction With External Focus
Single-leg stance on unstable platform (FIGURE 1)	Keep your balance by stabilizing your body	Keep the bar horizontal
Single-leg squat (FIGURE 2)	Stand on 1 leg and slowly bend your knee while keeping your knee over your foot	Stand on 1 leg and reach slowly toward the cone with your knee while bending your knee
Single-leg hop for distance (FIGURE 3)	Jump as far as you can. While jumping, focus on extending your knees as rapidly as possible	Jump as far as you can. While jumping, focus on jumping as close to the cone as possible
(Walking) lunges (FIGURE 4)	Lunge slowly at an even pace. Bend your hips and knees until your leading knee is flexed to 90°. Keep your front knee on top of your foot and prevent buckling inward with this knee	Lunge slowly at an even pace. While pretending you have a plank on your back, point your knee toward an imaginary point in front of you and reach slowly toward the cone
Double-leg squat	Bend your knees while keeping your knees over your feet	While bending your knees, reach toward the cones with your hands and point your knees toward the cones Pretend that you are going to sit on a chair while keeping a ball between your knees
Double-leg drop jump	Jump down from a 30-cm box, land with your feet at shoulder width, and bend your knees while keeping knees over toes	Jump down from a 30-cm box, land on the markers on the floor, and put your toes and knees toward the cones
Vertical jump with Vertec [®] (19-632)	Jump as high as you can while concentrating on the tips of your fingers, reaching as high as possible during the jumps	Jump as high as you can while concentrating on the rungs of the Vertec/ball, reaching as high as possible during the jumps Jump as high as you can, push off against the ground as forcefully as possible, and pretend like you have to hold a ball between your knees
Countermovement jump	Jump as high as you can and reach your fingers as high as you can	Jump as high as you can and touch the hanging ball
Sidestep cutting maneuver	Run 4 to 5 steps straight ahead. While changing direction and making the cut, move your trunk forward, bend your knee, and keep your knee over your toe	Run 4 to 5 steps straight ahead. While changing direction and making the cut, try to make a fluent motion and point your face and toes toward the direction you are going

En este sentido, los autores del estudio Benjaminse et al.⁴⁸ consideran que se debe priorizar el foco de atención externo acelera el proceso de aprendizaje y automatización de movimiento. También favorece la producción de patrones más efectivos y eficientes, muy importante para corregirlos y evitar que sean lesivos a través de la utilización de procesos automáticos/inconscientes. En la Tabla 9 se expone la diferencia entre el foco de atención interno y externo.

En una línea similar, Benjaminse et al.⁴⁵ afirman que aprender estrategias con un foco interno de atención ha demostrado ser menos adecuado para la adquisición de habilidades motoras complejas, como las demandadas en los deportes. En cambio, centrarse en un foco externo de atención promueve la adquisición del control motor automático.

Además, Benjaminse et al.⁴⁸ ofrecen detalles de cómo aplicarlo al protocolo. Es importante que exista una alta frecuencia de feedback que promueva el foco de atención externo ya que se obtienen mejores resultados; de lo contrario, el abuso de feedback interno puede resultar contraproducente para el aprendizaje. También da buenos resultados darle al deportista cierto control sobre la sesión, como decidir cuándo quiere recibir feedback, ya que mejora el aprendizaje de estrategias de aprendizaje.

En su trabajo concluyen, que derivado de la aplicación de feedback con foco de atención externo se consiguen mejores resultados en salto vertical, producción de fuerza y desplazamiento del centro de masa respecto al interno. No obstante, afirman que los mejores resultados se obtienen al combinar ambos tipos de feedback⁴⁸.

El segundo de los aspectos a tener en cuenta es el tipo de feedback que se aporta, en este sentido veremos la diferencia entre el feedback verbal y visual. Son muchos los estudios que analizan la incidencia de estos feedbacks sobre los protocolos de prevención, a continuación se presentan las aportaciones más destacadas.

Ejemplo de ello es el artículo Sugimoto et al.³⁶, en el que se comprueba el efecto del feedback verbal como factor que aumenta la capacidad para evitar la RLCA. A los mismos protocolos de prevención estudiados se les añadió el feedback verbal en una segunda comprobación del mismo estudio (como *la rodilla sobre el dedo gordo o amortiguadora la caída suavemente*) obteniendo como resultado un porcentaje menor de casos de RLCA. Los autores asumen que esta mejora se debe al nivel de atención sobre los movimientos realizados en la articulación.

En cambio, Taylor et al.³ después de analizar 13 trabajos de diferentes propuestas de prevención, concluyen que no existe una diferencia significativa en la prevención del riesgo de RLCA a través de la aplicación de feedback verbal. En este trabajo se analiza dentro de los componentes del programa de entrenamiento cuáles tienen una mayor importancia (en función al tiempo empleado y a la frecuencia de práctica); los resultados muestran que aquellos protocolos cuyos elementos principales son el entrenamiento de agilidad (ENM) mostraron efectos positivos en la reducción de la RLCA sin contacto, como ya hemos visto en el epígrafe anterior.

Dentro de este tipo de feedback, la literatura Benjaminse et al.⁴⁵ y Sugimoto et al.³ muestran que instrucciones verbales que inducen al foco externo consiguen mejores resultados en la adquisición y retención de habilidades motoras que aquellas que llevan a un foco interno. Los autores hacen especial énfasis en su capacidad sobre aspectos esenciales para este trabajo como la técnica en el aterrizaje, muy determinante para el GRF.

Por otro lado son muchos los autores que abogan por el feedback visual como herramienta para mejorar el efecto de los protocolos de prevención.

En este sentido, Benjaminse et al.⁴⁸ propone el uso de video feedback para mejorar el proceso de aprendizaje. Se

pone en juego la imitación, y así, se activan las neuronas espejo. En la investigación se comparó un grupo que recibía feedback visual (vídeo) + verbal con otro que solo recibía verbal. Los resultados obtenidos demostraron los primeros disminuyeron en mayor porcentaje su GRF.

En este mismo trabajo se destaca como mejor método para mejorar el equilibrio y la distribución simétrica del peso durante los movimientos de juego, el seguimiento 3D en tiempo real de análisis del movimiento (C-Motion, Inc, Germantown, MD). También proponen el uso de sensores inerciales de feedback en tiempo real para reducir el momento de abducción de la rodilla y aumentar los ángulos de flexión de rodilla y tronco durante el aterrizaje. Esto supone reducir el riesgo de RLCA.

Por su parte, el estudio, Benjaminse et al.⁴⁵ investiga los efectos del feedback visual con foco de atención externo y el feedback verbal con el foco de atención interno sobre el pico de carga de la rodilla, durante ejercicios de saltos laterales y cortes inesperados. Como hemos comentado anteriormente, es un factor primordial si se quiere reducir la incidencia de la RLCA. La muestra estaba compuesta por 45 mujeres y 45 hombres. El feedback visual (EF) llevó a una reducción de la carga sobre la rodilla. La estrategia de “aterrizar suavemente” con un ROM de rodilla mayor y una mayor dorsiflexión del tobillo permite atenuar la carga sobre la articulación. Además, se produce una reducción del valgo de rodilla, por tanto, la reducción de la carga y la disminución del valgo ayudarán a reducir el riesgo de lesión. También se demostró una reducción del GRF en el salto a dos piernas con vídeo feedback (EF).

Se encontraron diferencias entre sexos en el feedback visual. Los hombres han demostrado mejores grados de flexión de rodilla, así como GRF. Esto puede ser explicado debido a que las mujeres utilizan estrategias de aterrizaje “dependientes del ligamento” lo que las sitúa en un riesgo mayor de sufrir RLCA. En el estudio se concluye que mientras los

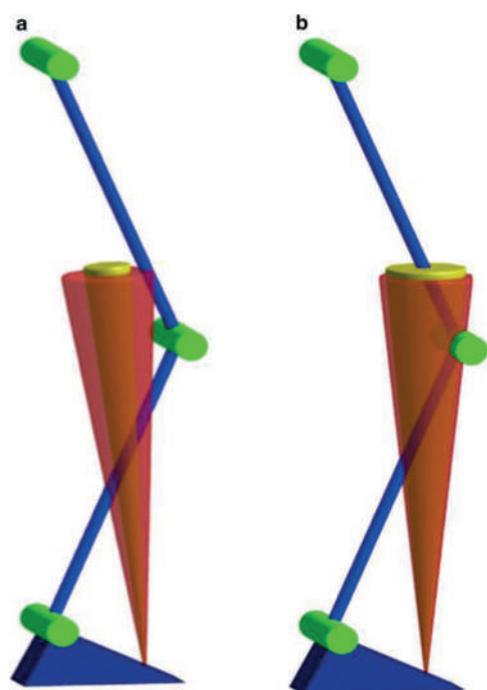


Ilustración 3. Efectos del feedback visual sobre la rodilla.

chicos claramente se benefician del feedback visual en el caso de las mujeres será necesario utilizar diferentes tipos de feedback para optimizar sus saltos y cortes laterales⁴⁵.

Se muestra una imagen de la diferencia entre ambos frente al feedback visual: a representa a los hombres y b a las mujeres. El cono rojo representa el vGRF en la tarea y el cono amarillo después del feedback. Como se puede observar en el caso de los hombres disminuye de forma sustancial. Además, los hombres mantuvieron el momento de flexión de rodilla alto mientras reducían el valgo de rodilla; las mujeres no⁴⁵.

No obstante, cabe señalar que la aplicación de feedback visual a través de las herramientas nombradas resulta de muchísima utilidad pero no está al alcance de todos aquellos que sufren una RLCA por lo que deberemos adaptar estos métodos para hacerlos más accesibles. Por ejemplo a través de la grabación con smartphones y el análisis posterior a cámara lenta con las indicaciones de un profesional de la actividad física.

Como resumen a lo expuesto hasta el momento, y después de revisar todos los estudios citados, podemos afirmar que si se implementa más de una sesión semanal de una duración de entre 20-30 minutos, en el que se varíen diferentes ejercicios de ENM y se les incorpora la aplicación de feedback verbal y visual con el foco interno, se podría conseguir prevenir en un gran porcentaje lesiones que tienen afectación sobre el LCA. Según los estudios consultados el RRR podría ser disminuido hasta en un 73%. Por tanto, parece lógico pensar que deberemos incorporar estos aspectos al diseño de cualquier protocolo que busque reducir el riesgo de RLCA.

5. RECUPERACIÓN

Nos adentramos en uno de los epígrafes clave del presente trabajo. En este punto se trata de dar respuesta a algunas de las preguntas más recurrentes en relación al proceso de recuperación de una RLCA: ¿En qué consiste la recuperación o readaptación funcional? ¿Cuál es el mejor momento para volver a la práctica deportiva? ¿Qué proceso debo llevar a cabo para conseguir recuperar el nivel previo?

Cabe destacar que el objetivo de todo proceso de recuperación consiste en que el deportista vuelva a la práctica deportiva. Este proceso empieza desde el momento de la lesión, pasa por la reconstrucción del LCA, y acaba en el momento en el que el deportista recupera su nivel competitivo previo, momento en el que se reincorpora a la práctica deportiva. Son muchos los factores que influyen a lo largo del proceso de recuperación: mecanismo de lesión, técnica de reconstrucción, factores psicológicos, rehabilitación pre y post operativa, etc. En este apartado se abordarán todos estos factores.

No obstante, son muchos los estudios que afirman que la recuperación exitosa y la vuelta a la práctica deportiva depende más del trabajo de rehabilitación que del resto de factores que influyen durante este proceso (mecanismo de lesión, tipo de injerto realizado durante la ReLCA, etc.). Por tanto, en este epígrafe se abordarán aspectos esenciales para la recuperación de esta lesión^{35 39}.

Debido a este motivo, en el presente punto abordaremos los grandes aspectos a tener en cuenta en este proceso, factores implicados en la elaboración de protocolos, aspectos más relevantes para recuperar los valores funcionales previos a la lesión o determinación del momento de vuelta a la práctica deportiva.

Sin embargo, antes de analizar los elementos y variables de los protocolos de recuperación de la ReLCA se hace necesario ahondar en la primera de las preguntas planteadas en la introducción del presente punto ¿En qué consiste la recuperación o readaptación funcional?

Al respecto, Thomeé et al.⁴⁹ plantean las condiciones que debe cumplir la vuelta a la práctica deportiva: debería ser segura y exitosa, esto significa eliminando el riesgo de re-lesión, así como de otras lesiones derivadas, en ausencia de dolor de rodilla o hinchazón a corto plazo; y en ausencia de consecuencias negativas a largo plazo como OA.

Esta definición es muy general, por este motivo los autores nos emplazan a realizarnos algunas preguntas. La respuesta de estas nos ayudará a ser capaces de determinar el momento más idóneo para la vuelta a la práctica deportiva. Algunas de estas preguntas son: ¿Era deportista de elite o amateur? ¿En el momento de volver participará en el mismo nivel competitivo o en uno inferior? ¿El deporte que practicaba implica realizar movimientos de corte y de pivote? Además, será necesario tener en cuenta otros aspectos como la percepción funcional que tiene el deportista sobre el estado de su rodilla.

Como se puede observar de lo expuesto por el estudio anterior, la elaboración del proceso de recuperación depende de decisiones multifactoriales, que solo se pueden resolver de manera individual; aun así, Lynch et al.⁵⁰ en su estudio teórico trata de establecer una definición de recuperación exitosa de ReLCA que se pueda aplicar a todos los deportistas que hayan sufrido una RLCA, esta es la siguiente: la ausencia de derrame en la articulación de la rodilla, fuerza simétrica entre el cuádriceps y los isquiotibiales (estructura corporal y función), el paciente informa de resultados con

umbrales claramente definidos como éxito (actividad y participación) y vuelta a la práctica deportiva (participación).

A lo largo del siguiente punto iremos revisando diferentes estudios que hacen énfasis en cada uno de los aspectos destacados en esta definición de la recuperación exitosa de LCA, los cuales nos ayudarán a dar respuesta a la pregunta que se plantea en el título del siguiente epígrafe.

5.1. ¿Cuál es el mejor momento para volver a la práctica deportiva?

Nos adentramos en uno de los puntos que más interés ha suscitado entre la literatura especializada en la materia. La pregunta que se plantea en el encabezado de este apartado ha promovido gran cantidad de estudios y trabajos científicos. Esto se debe, como veremos a continuación, a que es una cuestión clave; una mala decisión en este punto puede arruinar un proceso de rehabilitación excepcional. Por este motivo, en el presente apartado, recopilaremos las aportaciones más destacadas al respecto en la bibliografía consultada.

Criterio temporal

Tradicionalmente, el criterio más utilizado para determinar la vuelta a la práctica deportiva ha sido el temporal. En el ámbito del deporte popular, después de una ReLCA se suele asumir que el deportista necesitará 6 meses para volver a la práctica deportiva. Sin embargo, en la mayoría de los casos este paradigma será erróneo puesto que, como ya hemos visto, la respuesta a la pregunta es individual y depende de muchos factores. Parece poco lógico que si la respuesta debe ser personal, pueda darse una misma respuesta (6 meses) en todos los casos. A continuación veremos algunas aportaciones en relación al criterio temporal.

Ejemplo del mismo es el estudio Grindem et al.⁴⁷ en el que proponen una batería de pruebas funcionales para

Tabla 10. Factores asociados con el riesgo de re-lesión en pacientes que han vuelto a realizar práctica deportiva después de una ReLCA.

	n	No reinjury	n	Reinjury	Adjusted HR (95% CI), p value
All patients					
Return to level I sports, months from surgery	52	10.7±4.3	22	7.2±2.7	
Passed RTS criteria, n (%)	51	17 (33.3)	22	1 (4.5)	0.16 (0.02 to 1.20), 0.08
Quadriceps strength, LSI	51	84.4±15.2	18	75.0±16.7	0.97 (0.94 to 0.99), 0.03
Single hop for distance, LSI	48	89.4±13.0	17	91.0±11.7	1.01 (0.96 to 1.05), 0.77
Triple crossover hop, LSI	47	90.7±11.8	16	93.8±8.5	1.04 (0.98 to 1.10), 0.22
Triple hop, LSI	47	91.2±10.0	15	93.5±10.8	1.03 (0.96 to 1.10), 0.44
6 m Timed hop, LSI	47	96.1±9.9	16	92.4±6.2	0.97 (0.93 to 1.02), 0.20
KOS-ADLS	51	89.2±9.6	18	86.9±10.7	0.98 (0.94 to 1.03), 0.43
Global rating scale	51	86.4±13.9	18	77.7±16.1	0.98 (0.95 to 1.01), 0.12
Patients who returned before 9 months					
Return to level I sports, months from surgery	23	7.3±0.9	15	5.7±1.7	0.49 (0.34 to 0.70), <0.001
Patients who returned 9 months or later					
Return to level I sports, months from surgery	29	13.4±4.0	7	10.4±1.0	0.75 (0.49 to 1.14), 0.18

Values are mean±SD unless otherwise indicated. All analyses are adjusted for age. LSI (%). HR below 1 indicates a lower injury rate with higher values of the respective variable. All HR reflect the relative change in reinjury rate for a 1 unit increase in the respective variable. Passed RTS criteria was coded 1=yes, 0=no.
KOS-ADLS, Knee Outcome Survey—Activities of Daily Living Scale; LSI, limb symmetry index; RTS, return to sport.

determinar si el deportista está listo para volver a la práctica (nivel 1). De los 49 deportistas que volvieron al primer nivel entre 5-11 meses después de la cirugía, solo 7 (14%) conseguían reunir los criterios de la batería como dispuestos para la vuelta a la práctica. En cambio, 11 de los 20 (55%) que volvieron entre los 12-23 meses cumplían con los criterios. Basándose en los datos obtenidos, los autores afirman que retrasar la vuelta a la práctica hasta pasados 9 meses después de la ReLCA estaba asociado con una disminución del riesgo de volver a sufrir una lesión; el porcentaje de incidencia de lesiones se reduce en un 51% por cada mes. Por encima de los 9 meses no se muestra una reducción significativa del riesgo de lesión, este se mantiene en 19,4%.

Además, establecen que los criterios para determinar la vuelta a la práctica deportiva son significativos ya que únicamente 1 de los 18 sujetos que reunían los criterios sufrió una nueva lesión en dicha articulación. En la imagen se ilustra este resultado⁴⁷:

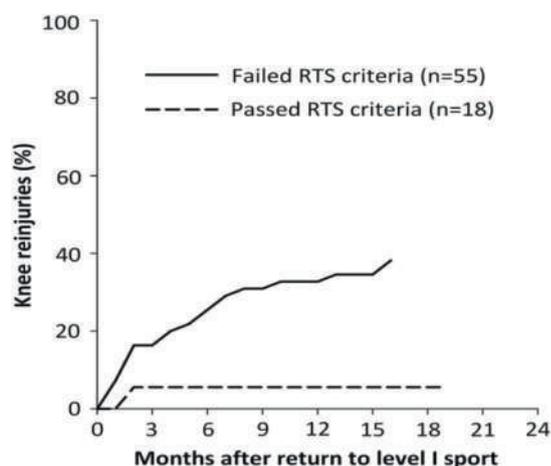


Gráfico 7. Lesiones en función al momento de volver a la práctica deportiva.

A modo de conclusión los autores determinan que el criterio temporal sumado a la batería propuesta presenta una relevancia clínica elevada. Estiman que se puede reducir en un 84% las re-lesiones aplicando estos dos filtros (temporal y funcional)⁴⁷.

En una línea similar, Risberg et al.¹⁶ concluyen que una vuelta prematura a la práctica de deportes de pivote es extremadamente peligrosa. El riesgo de lesión baja por cada mes que se demora la vuelta hasta los 9 meses post-ReLCA.

No obstante, Müller et al.⁵¹ después de revisar 264 estudios confirman que el 30% de los trabajos consideraron el tiempo (6 meses) como único criterio mientras que el 13% utilizaron criterios individualizados.

En relación al mismo aspecto Ellman et al.³⁵, analizan 49 trabajos y concluyen que el 51% de los estudios permite la vuelta a la práctica deportiva 6 meses después de la operación mientras que el 86% de los estudio lo permite a partir de 9 meses.

Por su parte, Gokeler et al.⁷ afirman, que, independientemente del protocolo de rehabilitación empleado, antes de un año no se puede determinar que haya una recuperación completa.

Como podemos observar, existe mucha discrepancia en cuanto a este criterio; de hecho, ningún estudio establece un tiempo exacto para volver a la práctica deportiva, solo orientaciones. Esto se debe a que, como ya hemos comentado, se trata de una decisión basada en criterios individuales, por tanto, difícilmente se podrá generalizar sobre el momento más idóneo en términos temporales.

Criterio funcional

Como segundo criterio más utilizado entre los estudios revisados, se encuentra el funcional referido a los niveles de fuerza. Este criterio puede ser evaluado de muchas maneras: simetría entre piernas, pre-post ReLCA, musculatura antagonista, etc. No obstante, a diferencia del criterio temporal, este sí se aplica de forma individual y tiene una relación directa con los factores de riesgo señalados previamente. Por tanto, si seguimos con las condiciones de la definición previa, este criterio parece ser más adecuado. A continuación se exponen las aportaciones más destacadas de los trabajos revisados.

En este sentido, Czuppon et al.¹⁰ establecen que el criterio típico incluye medir el índice de simetría de la fuerza de ambos cuádriceps, este debe ser > 80-90% respecto a la pierna opuesta para no ser considerado factor de riesgo.

Por su parte, Gokeler et al.⁷, en una línea similar, establece que está demostrado que después de una ReLCA con un índice de simetría de cuádriceps (pierna lesionada/pierna no lesionada $\times 100$) de <85% presentaban un déficit funcional, mientras que aquellos que los déficits eran mínimos >90% mostraban una funcionalidad similar a sujetos sanos. Por este motivo, recuperar la funcionalidad minimizando los déficits de fuerza se debe convertir en uno de los objetivos del protocolo de rehabilitación.

En la revisión realizada por Grindhem et al.⁵² se evalúan 39 estudios sobre cómo determinar el momento de volver a la práctica deportiva a través de la medición de la fuerza (isocinética). El 79% de los estudios consultados utilizan únicamente la contracción isométrica como medida. No obstante, sabiendo que el tipo de contracción afecta al torque, y que en la fase excéntrica este es mayor, los autores determinan que resulta necesario analizar tanto la fuerza concéntrica como la excéntrica, ya que ambas están presentes en las acciones deportivas. El estudio concluye que no existe un consenso en la literatura en cuanto a la medición de la fuerza (de manera isocinética) para determinar la vuelta a la práctica deportiva; con todo, se proponen algunos índices derivados de ella que pueden ser muy útiles para ayudarnos a tomar dicha decisión:

- Podemos medir la simetría de fuerza entre ambas piernas (factor clave en el riesgo de lesión de LCA. Se realiza tanto en la fase excéntrica como concéntrica).
- Podemos medir la asimetría entre la fuerza del cuádriceps y de los isquiotibiales y comparar esta entre ambas piernas (otro de los factores señalados previamente).

En cuanto a la manera de llevar a cabo esta medición Undheim et al.⁵² proponen un protocolo estandarizado que supone 5 repeticiones de extensión y flexión de rodilla a

60°/s en la máquina isocinética. Obviamente, pese a ofrecer información muy útil resulta inaccesible para la mayoría de profesionales.

El estudio Sugimoto et al.²⁹ valora las asimetrías en la fuerza desde un punto de vista menos analítico, a través de la medida del GRF. El estudio trata de observar asimetrías cinéticas de la rodilla en el plano sagital durante el aterrizaje, factor de riesgo de RLCA como hemos visto, con una muestra de 23 pacientes post-ReLCA 6 meses. Las asimetrías detectadas eran capaces de predecir asimetrías cinéticas con un 11-19% de error de estimación (salto y parada y saltos laterales de corte). Un transductor de la fuerza de eje permitiría de forma económica y flexible monitorizar las asimetrías del plano sagital de la rodilla durante la rehabilitación.

Siguiendo esta línea, los estudios Risberg et al.¹⁶ y Gokeler et al.¹⁷ así como en el editorial del Journal of Othopaedics and Sports Physical Therapy⁵³ deciden incorporar como criterio funcional, a los ya nombrados, el salto. Este ayudará a para determinar el momento más idóneo de vuelta a la práctica deportiva.

El primero de los estudios utiliza el test el test IKDC (más adelante se explica detenidamente) a 140 deportistas y luego les realizan dos pruebas una de fuerza y otra de capacidad de salto. El 91% de los deportistas que obtuvieron una calificación baja en la encuesta fallaron los test funcionales a los 6 meses. Solo el 48% de los que obtuvieron buena puntuación pasaron los test funcionales (salto monopodal en diferentes direcciones)⁵³.

Por su parte, Risberg et al.¹⁶ plantean una batería de test. Solo el 6% de los que pasaron los criterios sufrieron una re-lesión. Los test medían la fuerza del cuádriceps, 4 test de salto para medir la simetría, también una escala de valoración global y el Knee Outcome Survey activities of daily living subscale (serán comentados en el punto sobre siguiente).

A su vez, Gokeler et al.¹⁷ en su estudio (n = 28, 6 meses después de la lesión), proponen la siguiente batería de test para determinar una vuelta segura a la práctica deportiva después de una Re-LCA: Un test de salto-aterizaje (LESS), SLH, TLH, SH y test de fuerza isocinética. Los pacientes también completaron 2 cuestionarios, el IKDC y el ACL-RSI.

Como conclusiones se extrae que aquellas mujeres que mostraron una combinación de déficit del isquio en comparación a la fuerza de los cuádriceps eran más vulnerables a sufrir una RLCA. (Factor de riesgo señalado con anterioridad). Además, curiosamente, solo 2 de los pacientes fueron capaces de superar la batería propuesta. Por tanto, está en consonancia con lo comentado en anterioridad, los pacientes 6 meses después de la ReLCA necesitan aún rehabilitación adicional antes de volver a la práctica deportiva¹⁷.

Como hemos podido observar, estos trabajos además de incorporar la evaluación de la fuerza y de la capacidad de salto (fuerza aplicada/GRF) utilizan también test de auto-percepción para conocer el autoconcepto que tienen los deportistas de su propia capacidad. Esta variable, la psicológica, resulta determinante en el proceso de recuperación por lo que hemos decidido dedicarle un punto completo a su análisis pormenorizado.

Además de los trabajos ya presentados, la gran mayoría de los revisados presentan más de un criterio para determinar el momento idóneo de vuelta a la práctica deportiva, a continuación se analizan los más destacados.

Ejemplo de ello es Bizzini et al.¹¹, en su estudio centrado en el fútbol, se proponen como *criterios* a tener en cuenta los siguientes:

1. Temporal (al menos un año para volver a participar en un juego "real").
2. Una simetría entre la fuerza de las dos piernas medida a través de teste de salto.
3. La ausencia de todos los tipos de reacciones adversas de la rodilla (hinchazón, dolor, etc.) durante la práctica sin restricción.
4. El Yo-Yo Intermittent Recovery Test, así como el Repeated-Shuttle-Sprint-Ability test.

Por su parte, el estudio Hildebrandt et al.⁵⁴ con una n = 450 jóvenes sanas para cada test, propuso la siguiente *batería*:

1. Equilibrio con dos piernas en el MFT Challenge Disc.
2. Equilibrio con una única pierna en el MFT Challenge Disc.
3. Salto con contra-movimiento con dos piernas.
4. Salto con contra-movimiento con una pierna.
5. Salto polimétrico. El objetivo aquí es centrarse en la mayor altura de salto posible.
6. Salto de velocidad, en una prueba con vallas bajas en la que se combina la velocidad en el salto con la capacidad coordinativa.
7. Test de movimiento de pies. Con un alto componente coordinativo también.

* Todos los test de salto se realizan con el Myotest. Es un cinturón que permite registrar variables como la altura, la potencia (W/Kg), el tiempo de contacto en el suelo (ms) y la reactividad (mm/ms).

En el mismo estudio se extraen como conclusiones que existen asimetrías de más del 10 % entre piernas en individuos sanos. En este aspecto la European Board of Sports Rehabilitation recomienda diferencias en las demostraciones de salto de <10% entre la pierna lesionada y no lesionada para poder realizar deporte competitivo. También se llegó a la conclusión que aquellas personas que mostraban mejores resultados en los test de salto tenían más posibilidades de volver a la práctica deportiva⁵⁴.

Siguiendo en esta misma línea, el estudio Müller et al.⁵¹ llevado a cabo a 40 pacientes a los que se les había llevado a cabo una ReLCA 6 meses antes, propone los siguientes *criterios*:

1. Tampa Scale of Kinesophobia, Emotional Response of Athletes to Injury Questionnaire o el LCA-RSI escale (se detalla más adelante).
2. Medición de la fuerza isométrica.

- Medición de la fuerza máxima isométrica de los músculos implicados con un medidor isométrico de mano (Wagner Force Dial TM model FLD).
- El índice de simetría fue aplicado a los a los flexores-extensores.
- Test de salto: a una pierna distancia, triple salto, salto en cuadrado y salto cruzado.

Después de aplicarlo a los pacientes, y observar las diferencias entre el resultado y los test de auto-percepción, se determina que la escala ACL-RSI y el test de salto a una pierna en su modalidad de distancia son los mejores predictores para determinar la vuelta al deporte⁵¹.

Por otro lado, en su estudio Kline et al.¹⁴ propusieron elaborar una serie de test para determinar la idoneidad de los pacientes (runners) para volver a la práctica deportiva después de 3 meses de rehabilitación. Los criterios empleados fueron los siguientes:

- SLSD test. Como predictor de la variación de la flexión de la rodilla durante la carrera.
- Fuerza isométrica de cuádriceps. Como hemos visto con anterioridad es uno de los factores que puede ayudar a garantizar una recuperación exitosa de RLCA. Ya hemos comentado que una mejor simetría entre piernas conlleva un mejor Angulo de flexión y un mejor momento externo de salto durante las tareas de salto.
- YB-A reach. Buenos resultados a los 3 meses están asociados con una mejor flexión de rodilla pero no con un mejor momento de extensión durante la carrera a los 6 meses. No parece un buen método para simular las condiciones del running.
- 3D gait analysis.

Criterio psicológico

Como hemos visto en el apartado anterior, en muchos de los casos no existe relación entre los resultados obtenidos en las pruebas funcionales (objetivas) y la percepción de los propios pacientes. En base a esto resulta obvio llegar establecer que el factor psicológico (subjetivo e individual) tendrá gran incidencia para determinar el momento de volver a la práctica⁵⁵. En este apartado se van a abordar las aportaciones realizadas en relación a este criterio en la bibliografía consultada:

En el estudio Ardern et al.⁵⁵ 164 pacientes fueron evaluados a través de los siguientes protocolos:

- Knee Self-Efficacy Scale (K-SES) para evaluar la eficacia percibida en el momento y en el futuro de la rodilla.
- Multidimensional Health Locus of Control C-form (MHLC-C): Para determinar en qué medida los pacientes creen que su salud está determinada por su propio comportamiento.
- ACL-Return to Sport After Injury Scale (ACL-RSI): Para evaluar si el paciente está psicológicamente preparado para la vuelta a la actividad física.

Tabla 11. Razones para no volver al nivel previo a la lesión después de una ReLCA.

	n	Per cent
Do not trust the knee	25	28
Fear getting a new injury	21	24
Poor knee function	19	22
Family or work commitments	9	10
Other reasons	9	10
Change in team or coach	5	6
Total	88*†	100

*Data were excluded from six participants who ranked more than 1 reason as the most important for not returning.
†Missing data from four participants.

- Tampa Scale for Kinesiophobia (TSK): para evaluar el miedo a la re-lesión de los pacientes.
- Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) para evaluar la percepción de los pacientes sobre la función de la rodilla durante la práctica deportiva.

Como primeras conclusiones establece que las razones más comunes para no volver a la práctica deportiva eran la falta de confianza en la rodilla (28%), el miedo a padecer una nueva lesión (24%) y la percepción de una funcionalidad baja de la misma (22%)⁵⁵.

Como conclusiones finales del estudio, los autores determinan que aquellos deportistas que consiguieron volver

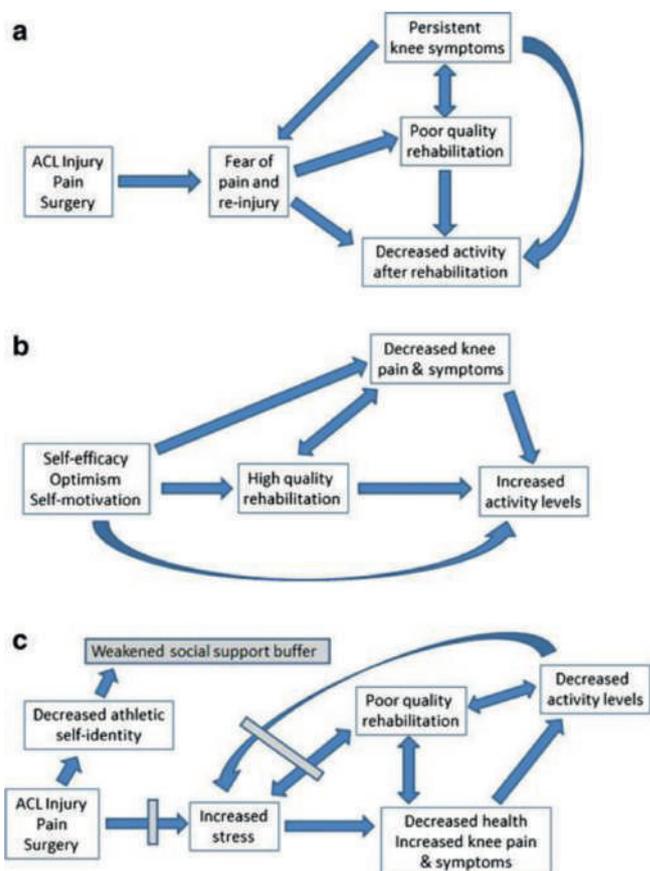


Ilustración 4. Diferentes evoluciones de la lesión de LCA y la influencia de los factores psicológicos.

al nivel competitivo previo a la ReLCA habían obtenido mejores resultados en los test de percepción psicológica de funcionalidad. Además, destacaban el test ACL-RSI como el mejor predictor de vuelta a la práctica deportiva a los 12 meses post ReLCA.

Por su parte, en el estudio Everhart et al.⁵⁶ se pone de manifiesto que en muchos casos la falta de vuelta a la práctica deportiva no se debe a déficits funcionales en la estabilidad o fuerza de la rodilla sino a factores psicológicos. En la Ilustración 4 se muestran algunos de los factores que pueden llevar a esta falta de vuelta a la práctica deportiva.

Además, Christino et al.⁵⁷ añaden una serie de factores que pueden influenciar el resultado de la rehabilitación de RLCA y la vuelta a la práctica deportiva. En la imagen se ilustran algunos de estos factores.

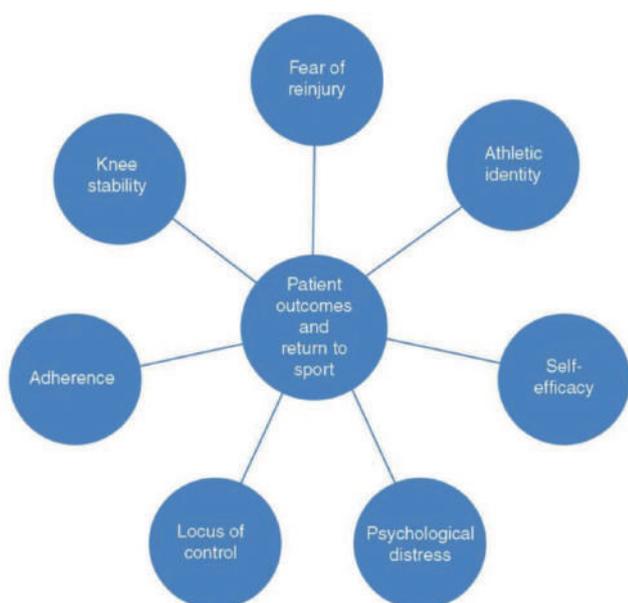


Gráfico 8. Factores que afectan a la vuelta a la práctica deportiva después de una ReLCA.

Respecto a estos factores, en el estudio se llega a las siguientes conclusiones:

- Las personas que muestran niveles altos de autoeficacia presentan un mayor crecimiento personal, esfuerzo y motivación así como una mayor capacidad para sobreponearse a los contratiempos. También mostraban mejores niveles de actividad.

Por su parte, en Everhart et al.⁵⁶ la percepción de autoeficacia a través de completar las tareas relacionadas con la rodilla en el K-SES-futuro era predictivo de un buen resultado de acuerdo con el KOOS, Tegner activity o el test de salto.

Un déficit en la autoeficacia en general afectó de manera específica los resultados. Aquellos pacientes que utilizaron "goal setting" y el "positive talk" tuvieron unos mejores valores en los ejercicios hechos en casa, así como una percepción más alta del esfuerzo realizado durante la rehabilitación⁵⁶.

En otro estudio, realizado por Ellman et al.³⁵ el miedo a la re-lesión fue citado por aproximadamente el 50% de los deportistas que no volvieron a la práctica deportiva.

- Aquellos pacientes que utilizaron métodos de relajación e imaginación guiados mostraron niveles más bajos de ansiedad y dolor así como una mayor fuerza en la articulación de la rodilla frente al grupo de control.
- Un alto locus de control interno percibe directamente los resultados como consecuencia de sus acciones y tiende a ser independiente, orientado al objetivo y motivado. También mostraron unos mejores resultados funcionales subjetivos.
- Los autores observaron una disminución de la identidad atlética después de 24 meses post-ReLCA. El mayor descenso de esta sucedió entre los 6 y los 12 meses.
- La adherencia al protocolo de rehabilitación mostró una significativa asociación positiva con los resultados percibidos. Más adherencia mejores resultados percibidos.
- Los deportistas que no volvieron a su nivel pre-lesión presentaban un mayor miedo a la re-lesión que aquellos que sí volvieron. Esto fue medido con la escala Tampa de Kinesofobia (TSK). EL miedo a sufrir una nueva lesión fue destacado como la principal razón para reducir la participación. Aunque curiosamente entre el 85% y el 90% de los pacientes incluidos en el análisis habían alcanzado valores normales en la función de la rodilla.

Como conclusiones a su trabajo, Everhart et al.⁵⁶ establecen que los factores psicológicos de los pacientes pueden predecir en parte los resultados de la ReLCA. Confianza en uno mismo, optimismo y la auto-motivación predicen buenos resultados, lo cual apoya la teoría de la auto-eficacia. Por su parte, estrés, apoyo social, y la identidad atlética también son predictores de acuerdo con la relación global entre estrés, salud y el apoyo social.

En una línea similar Hamrin et al.¹³ propone poner más énfasis en el fortalecimiento psicológico ya que lo considera esencial para llevar a cabo una rehabilitación exitosa. Esta importancia ha sido ilustrada con el hecho que aquellos pacientes que volvieron a practicar deportes de pivote mostraban una mayor percepción de su capacidad y un aumento de la calidad de vida en relación a los sujetos que no habían vuelto, incluso cuando mostraban valores de dolor y otros síntomas superiores. Esto se ilustra en el siguiente gráfico:

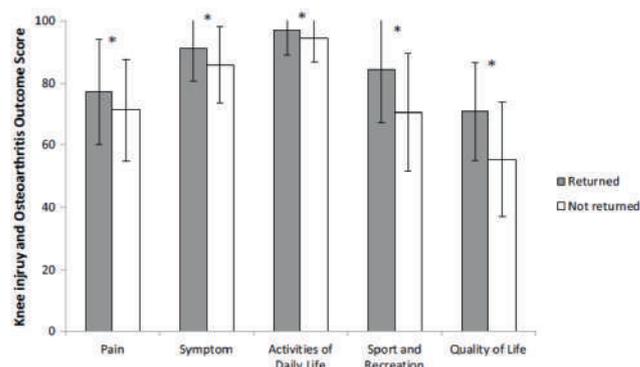


Gráfico 9. Resultados de lesión de rodilla y osteoartritis en función a si se ha vuelto a la práctica deportiva o no.

Como conclusión en el Kline et al.¹⁴ destacan que el SLSD y la fuerza de cuádriceps demostrada a los 3 meses post-ReLCA son predictores de la mecánica de carrera de la rodilla durante la carrera a los 6 meses post-ReLCA. De esta manera, se muestra que se podría implementar la evaluación durante la rehabilitación utilizando este tipo de test con el objetivo de determinar qué pacientes pueden reincorporarse y cuáles deben esperar.

A modo de resumen del epígrafe, y tratando de dar respuesta a la pregunta que se establecía en el título del mismo ¿cuál es el mejor momento para volver a la práctica deportiva? podemos concluir lo siguiente:

Parece lógico que utilicemos como guía aquellos aspectos que se encuentran relacionados con la reducción de factores de riesgo y se evalúan de manera individualizada: la simetría en la fuerza y la reducción del GRF (criterio funcional). En cambio, la utilización del factor temporal debe servir únicamente para establecer los tiempos mínimos de recuperación establecidos por los estudios pero nunca el momento idóneo, puesto que este será dependiente de cada individuo. Por último, resultará esencial analizar las variables psicológicas que afectan al proceso de recuperación puesto que determinan el resultado del mismo. En caso de que las condiciones psicológicas sean adversas será necesario que un profesional trabaje sobre ellas, de lo contrario, la recuperación nunca llegará a ser plena.

Pese a todo, en su meta-análisis Ellman et al.³⁵ establecen que el 90% de los estudios fallaron en la utilización de criterios objetivos para determinar la vuelta a la práctica deportiva, por lo que seguimos sin tener un protocolo estandarizado que nos permita dar respuesta a la pregunta y debemos ser escépticos con este tipo de criterios¹⁸.

En una línea muy similar Hildebrandt et al.⁵⁴ establecen que los test de fuerza muscular no son, generalmente, suficientemente sensibles para encontrar diferencias entre ambas piernas (lesionada y no-lesionada). De la misma manera, establecen que el criterio “meses desde la operación” es inadecuado para guiar a una vuelta al deporte segura.

Por tanto, sigue existiendo la necesidad de establecer una serie de criterios que analicen cuál es el momento más óptimo para volver a la práctica deportiva, al tratarse de una decisión individual y multifactorial resulta muy complejo generalizar sobre esta temática. Se hace necesario que en el futuro nuevas investigaciones determinen criterios analizables de manera individual y efectivos para determinar la respuesta a la pregunta planteada.

5.2. Rehabilitación

La rehabilitación es una fase clave dentro del proceso de vuelta a la práctica deportiva después de sufrir una lesión. A continuación, se expondrán las aportaciones más valiosas en relación a la elaboración de protocolos que permitan a los deportistas recuperarse efectivamente de la RLCA y posterior ReLCA.

En este trabajo se organiza la rehabilitación en dos fases, una pre-operativa, previa a la intervención quirúrgica de ReLCA y una segunda post-operativa, cuya duración abarca

desde la propia intervención hasta el momento en que el deportista puede volver a la práctica deportiva.

Rehabilitación pre-operativa

Cuando se sufren lesiones que implican intervención quirúrgica es usual que los esfuerzos se centren en realizar la mejor rehabilitación post-operatoria posible; no obstante, Grindem et al.⁵² en su trabajo demuestran la mayor efectividad en combinar una rehabilitación pre-operativa con una post. Se comparó un grupo de pacientes que realizó ambos protocolos (84 sujetos) con los datos obtenidos de pacientes en el servicio de salud pública noruego (NAR) (2690 sujetos), los cuales solo recibían protocolo post-operativo de rehabilitación. Todos los pacientes fueron evaluados con la escala Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) tanto antes de la intervención como hasta 2 años después. Los pacientes que realizaron ambos protocolos mostraron mejores resultados en la percepción funcional de los pacientes comparado con aquellos que únicamente llevaron a cabo el protocolo de recuperación post-quirúrgico.

Por su parte, Risberg et al.¹⁶ establecen que las mejoras realizadas pre-operativamente se mantienen después de la operación, llevando a mejores resultados a corto y largo plazo.

De la misma manera, Hamrin et al.¹³ establecen que un menor daño en la articulación de la rodilla pre-quirúrgico es predictor de mejores resultados funcionales 12 meses después de la ReLCA. Además, la asimetría pre-operativa de los cuádriceps de más de 20% es predictor de resultados funcionales más pobres hasta 2 años después de la ReLCA.

Rehabilitación post-operativa

Antes de adentrarnos en este punto, se hace necesario clarificar una serie de aspectos en relación a esta fase de la rehabilitación. En este sentido, hemos querido diferenciar, a su vez, dos procesos dentro de esta fase. Por una parte, consideramos recuperación física todo el proceso que va desde la operación hasta que desaparecen los síntomas derivados de la misma (hinchazón, dolor, etc.). Por otra, consideramos el proceso de readaptación deportiva o rehabilitación funcional al periodo que abarca desde que desaparece la sintomatología hasta que el deportista recupera la funcionalidad completa de la rodilla lesionada, de modo que le permite volver a la práctica deportiva.

Esta segunda fase resultará de vital importancia desde la óptica que enfocamos el presente trabajo, la deportiva; por tanto, centraremos nuestros esfuerzos en este aspecto.

En este sentido, van Melick et al.⁴, en su estudio revisa un total de 90 estudios (meta-análisis, revisiones, etc.) para tratar de analizar qué factores tienen una especial incidencia en la recuperación exitosa después de una ReLCA. También se destacan algunos factores que pueden ser predictivos de los resultados funcionales post-ReLCA⁴:

- Una alta actividad Tegner pre-operativa es capaz de predecir un mejor índice funcional 22 meses después de la operación.

- Un limitado ROM pre-operación suele conllevar un ROM limitado 3 meses después de la operación.
- Aquellos deportistas que llevaron a cabo protocolos pre y postoperatorios de recuperación tienen una mejor percepción de su capacidad funcional 2 años después.

En la siguiente tabla se recopilan las aportaciones más destacadas en relación a las variables que conforman un protocolo de rehabilitación.

Tabla 12. Resumen de las aportaciones más destacadas en función a cómo deben ser los protocolos de rehabilitación post-operativa.

Duración de la propuesta
Esta no parece ser una de las variables a tener en cuenta puesto que al comparar protocolos de 19 semanas con otros de 32, no se encuentran diferencias significativas en cuanto a la laxitud, ROM, percepción funcional de la rodilla, salto a la pata coja ni fuerza (isocinética y concéntrica) de cuádriceps y isquiotibiales ⁴ .
Tipo de ejercicios
Tanto los ejercicios de cadena cinética cerrada (CCC) como aquellos de (CCA) se muestran útiles para mejorar la fuerza de los cuádriceps. No obstante, los ejercicios de CCA no deben emplear hasta la semana 5 post-operación en un ROM limitado de entre 90°-45°. En cambio aquellos de CCC se pueden emplear desde que desaparezca el dolor ya que producen menos dolor, menos riesgo de que aumente la laxitud y una mejor auto-percepción de la función de la rodilla ⁴ .
Tipo de entrenamiento
El entrenamiento excéntrico de cuádriceps puede ser incorporado de manera segura desde la semana 3 post-ReLCA y se muestra como una forma efectiva para el fortalecimiento de dicha musculatura ⁴ . En este sentido, Gokeler et al. ⁷ establecen que el entrenamiento excéntrico es más efectivo que el concéntrico con el objetivo de mejorar la fuerza del cuádriceps. Además, añade que aquellos programas de rehabilitación que tienen una duración de entre 6 y 10 meses y una frecuencia de 2-3 días por semana son más beneficiosos para conseguir este objetivo que los de duración más corta o menor frecuencia ⁷ . El entrenamiento isométrico de cuádriceps puede ser incorporado de manera segura desde la semana 1 después de ReLCA ⁴ . Igual que sucedía con los protocolos preventivos, el ENM es una de las formas más eficaces de entrenamiento para optimizar la auto-percepción funcional de la rodilla ⁴ .
Otras variables
El uso de electro-estimulación hasta el mes 2, en combinación con los protocolos de rehabilitación convencionales, muestra mejores efectos en la mejora de la fuerza; no obstante, su efecto a largo plazo está sin confirmar ⁴ . El uso de crioterapia se muestra efectivo para conseguir disminuir el dolor la primera después de la cirugía; no obstante, no muestra resultados significativos en cuanto al drenaje o el ROM ⁴ .

Sin embargo, en el propio trabajo se confirma que es necesaria una batería de test extensa y probada para determinar en qué momento el deportista está listo para volver a practicar su actividad. Pese a esto, después de realizar el estudio sistemático de los 90 trabajos en van Melick et al.⁴ proponen

una metodología / protocolo para llevar a cabo la prevención y la rehabilitación de la RLCA, este protocolo puede ser observado en el apéndice 2.

Por su parte, Gokeler et al.⁷ postula que recuperar el ROM similar a la pierna sana es un factor importante para poder asegurar resultados exitosos a largo plazo. En su opinión, la rehabilitación debería poner parte de sus esfuerzos en restaurar un ROM simétrico entre rodillas.

En su estudio, van Melick et al.⁴ proponen un protocolo de rehabilitación para pacientes de entre 13 y 60 años que hiciese 3 meses que hubiesen sido ReLCA. El protocolo divide la rehabilitación en 3 fases:

- 1ª (0-2 meses): el objetivo era eliminar el derrame, recuperar ROM y minimizar la atrofia muscular. Con este objetivo se incorporan contracciones de cuádriceps y a medida que se tolere ejercicios en el ciclo-ergómetro.
- 2ª (2-6 meses): el objetivo era volver a ganar control en la extensión de la rodilla al menos recuperando el 80% de la fuerza muscular y de la habilidad de salto. Durante esta fase el entrenamiento de fuerza, neuromuscular y pliométrico son introducidos progresivamente.
- 3ª (6-12): EL objetivo era recuperar el 90% de la fuerza muscular y capacidad de salto para poder comenzar progresivamente con la transición hacia la práctica deportiva. El trabajo consiste principalmente en un trabajo duro de fuerza-resistencia así como ejercicios pliométricos cada vez más complejos y con mayor similitud a las acciones de juego.

Por su parte, Di Stasi et al.³⁹ son conscientes que algunos de los factores de riesgo no pueden ser minimizados; por esta razón, en su propuesta hacen un especial énfasis en aquellos que sí pueden serlo, como aumentar el control de la cadera o la movilidad de la rodilla durante ejercicios de saltar, movimientos de cortes o pivotar. Como ejemplo, nos exponen algunos de los ejercicios para poder paliar este déficit. En el apéndice 1 se presenta el protocolo completo propuesto por el estudio^{58 39}.

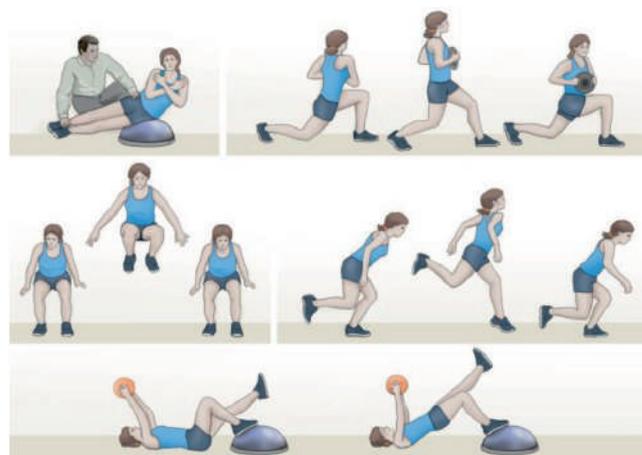


Ilustración 5. Ejemplo de ejercicios propuestos para la rehabilitación post-ReLCA.

En su trabajo, Bizzini et al.¹¹ proponen organizar la rehabilitación en 4 fases:

- Protección y ambulación controlada.
- Entrenamiento controlado.
- Entrenamiento intensivo.
- Vuelta a la práctica.

Igual que sucedía con las recomendaciones para los protocolos preventivos, Gokeler et al.⁷ concluyen que las instrucciones de realización que inducen a un foco de atención externo serán más efectivas que aquellas que induzcan a uno interno para readquirir patrones de movimientos normales.

Otro de los aspectos a tener en cuenta al elaborar un protocolo de readaptación es la capacidad de neuroplasticidad. Según Grooms et al.⁵⁸ después de la lesión y durante la terapia presenta un camino para cerrar una brecha entre la rehabilitación y la actividad dirigida a un espectro más amplio de la función sensori-motora durante el entrenamiento neuromuscular. Esta necesidad de ampliar el espectro de control sensoriomotor queda demostrada con propio escenario de RLCA sin contacto: se produce un fallo de la capacidad de mantener el control NM de la rodilla mientras se tiene un foco externo de atención. Por todo esto, proponen la utilización del entrenamiento visomotor como herramienta que se debe incorporar en el proceso de rehabilitación.

A su vez se presentan 3 adaptaciones que pueden ocurrir al sistema sensoriomotor de los deportistas después de sufrir ReLCA⁵⁸:

1. El input somato-sensor deprimido o el procesamiento sensoriomotor alterado.
2. Aumento del procesamiento visual para planificar movimientos y mantener el control neuromuscular.
3. Aumento de las estrategias "de arriba hacia abajo" de control cortical.

La modificación del input visual con cualquier elemento (balón, defensor, ojos tapados, señales visuales, dianas, etc.) aplicados durante la realización de tareas dinámicas complejas ayuda a mejorar el control neuromuscular⁵⁸.



Imagen 1. Imágenes de ejercicios con gafas de visión estroboscópica.

Además, también propone el uso del sistema de visión estroboscópica para mejorar aspectos cognitivos visuales básicos

como: la atención transitoria, la estimación anticipatoria de trayectorias o la memoria a corto plazo. Estos métodos pueden resultar prohibitivos para la mayoría de profesionales; aunque existen otros métodos más asequibles para realizar este tipo de trabajo. como, por ejemplo, incorporar el componente de tiempo de reacción, realizar seguimiento del balón, incorporando otros jugadores al ejercicio, incorporando toma de decisiones o aspectos anticipatorios, actividades duales (diferentes extremidades) o simplemente ocupando la memoria para aumentar la demanda neural del entrenamiento de estrategias neuromusculares. Recomiendan incorporar estas estrategias al entrenamiento neuromuscular con el objetivo de realizar la transición desde la clínica hasta la actividad⁵⁸.

Se ha demostrado que el entrenamiento visual mejora el rendimiento deportivo y el tiempo de reacción, así como la habilidad de procesamiento visual. Simplemente incrementando estos atributos neurocognitivos fundamentales permitirán al deportista mantener dos tareas al mismo tiempo, como pueden ser mantener el control de la rodilla mientras se interactúa con el entorno, reduciendo así el riesgo de RLCA⁵⁸.

Son muchos los tipos de entrenamiento visual que existen (ya hemos nombrado algunos), cada uno de ellos va dirigido a la mejora de un constructo visual: control óculo-motor, seguimiento de diferentes objetos, sensibilidad visual, atención espacial, memoria visual, tiempo de reacción o de procesamiento. En la imagen siguiente se muestra algunas de las ventajas de introducir este tipo de entrenamiento al proceso de recuperación⁵⁸.

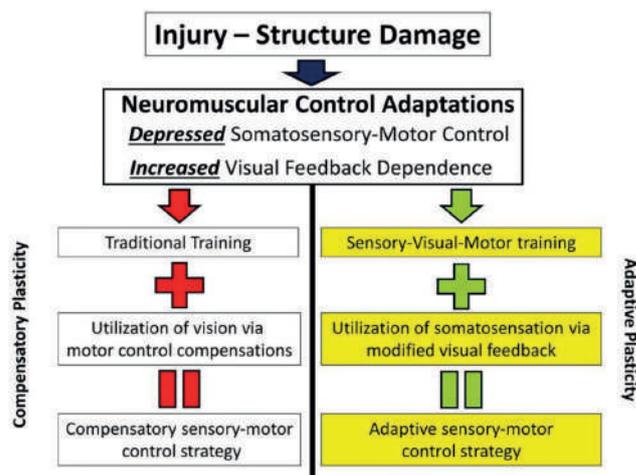


Ilustración 6. Adaptaciones derivadas del entrenamiento visomotor después del ReLCA.

De la misma manera que sucedía con los protocolos de prevención, el feedback también es una de las variables que deben tenerse en cuenta a la hora de elaborar un protocolo de rehabilitación/readaptación. En este sentido, todo lo aportado en el apartado 4, sobre prevención, se podrá utilizar también para este proceso de rehabilitación/readaptación.

Además, (24) añade a las aportaciones ya realizadas que, durante el proceso de recuperación/readaptación, orientar el feedback hacia aspectos externos como "ateriza en

las marcas “toca la diana en el momento de aterrizar” facilitará la transferencia del control motor a regiones subcorticales y liberará recursos para poder programar acciones motoras más complejas. (24).

A modo de resumen podemos determinar que en función a la bibliografía revisada resultará conveniente programar protocolos de rehabilitación tanto antes, como después de la operación con el objetivo de maximizar los resultados.

En relación al diseño de protocolos post-operativos, cabe señalar que se empezará una vez desaparezca la sintomatología con ejercicios isométricos de CCC (a partir de la semana 1) y, posteriormente, se incorporaran ejercicios concéntricos y excéntricos tanto en CCC como en CCA (a partir de la semana 5). Estos protocolos deberán centrarse en la recuperación de la estabilidad y funcionalidad de la rodilla a través de la ganancia de fuerza. No obstante, también se debe conseguir recuperar patrones de movimiento no lesivos previos a la ReLCA. Para esto introduciremos aportaciones de feedback verbal y visual de foco externo para mejorar el proceso de reaprendizaje de los deportistas.

A lo largo del documento (y los apéndices 1 y 2) hemos introducido gran cantidad de propuestas, metodologías y técnicas que pueden ser empleadas para la elaboración de protocolos que cumplan con estos objetivos. Con todo, es importante recalcar que cada deportista presenta una causalística y características individuales por lo que no se puede generalizar en cuanto a la elaboración de protocolos. Asimismo resulta interesante tener en cuenta las aportaciones presentadas previamente como guía para la organización del trabajo de readaptación funcional pero este siempre debe ser individualizado y adecuado a las demandas personales.

BIBLIOGRAFÍA

1. LaBella C, Hennrikus W, Hewett T. Anterior Cruciate Ligament Injuries: Diagnosis, Treatment, and Prevention. *PEDIATRICS*. 2014;133(5):e1437-e1450.
2. Lesión de ligamento cruzado anterior [Internet]. *Aear-troscopia.com*. 2017 [cited 28 June 2017]. Available from: <https://www.aear-troscopia.com/revista-espanola-de-artroscopia-y-cirurgia-articular>
3. Taylor J, Waxman J, Richter S, Shultz S. Evaluation of the effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention programme training components: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 2013;49(2):79-87.
4. van Melick N, van Cingel R, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hulleger W et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50(24):1506-1515.
5. Dai B, Butler R, Garrett W, Queen R. Using ground reaction force to predict knee kinetic asymmetry following anterior cruciate ligament reconstruction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2013;24(6):974-981.
6. Sugimoto D, Myer G, Barber Foss K, Hewett T. Dosage Effects of Neuromuscular Training Intervention to Reduce Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Meta- and Sub-Group Analyses. *Sports Medicine*. 2013;44(4):551-562.
7. Gokeler A, Bisschop M, Benjaminse A, Myer G, Eppinga P, Otten E. Quadriceps function following ACL reconstruction and rehabilitation: implications for optimisation of current practices. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2013;22(5):1163-1174.
8. Sugimoto D, Myer G, Barber Foss K, Hewett T. Specific exercise effects of preventive neuromuscular training intervention on anterior cruciate ligament injury risk reduction in young females: meta-analysis and subgroup analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 2014;49(5):282-289.
9. Wilk K. Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention and Rehabilitation: Let's Get It Right. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2015;45(10):729-730.
10. Czuppon S, Racette B, Klein S, Harris-Hayes M. Variables associated with return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*. 2013;48(5):356-364.
11. Bizzini M, Silvers H. Return to competitive football after major knee surgery: more questions than answers?. *Journal of Sports Sciences*. 2014;32(13):1209-1216.
12. Schmitt L, Paterno M, Ford K, Myer G, Hewett T. Strength Asymmetry and Landing Mechanics at Return to Sport after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2015;47(7):1426-1434.
13. Hamrin Senorski E, Samuelsson K, Thomeé C, Beischer S, Karlsson J, Thomeé R. Return to knee-strenuous sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a report from a rehabilitation outcome registry of patient characteristics. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2016;25(5):1364-1374.
14. Kline P, Johnson D, Ireland M, Noehren B. Clinical Predictors of Knee Mechanics at Return to Sport after ACL Reconstruction. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016;48(5):790-795.
15. Undheim M, Cosgrave C, King E, Strike S, Marshall B, Falvey É et al. Isokinetic muscle strength and readiness to return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction: is there an association? A systematic review and a protocol recommendation. *British Journal of Sports Medicine*. 2015;49(20):1305-1310.
16. Carey J, Shea K. AAOS Clinical Practice Guideline. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2015;23(5):e6-e8.
17. Risberg M, Grindem H, Øiestad B. We Need to Implement Current Evidence in Early Rehabilitation Pro-

- grams to Improve Long-Term Outcome After Anterior Cruciate Ligament Injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2016;46(9):710-713.
18. Gokeler A, Welling W, Zaffagnini S, Seil R, Padua D. Development of a test battery to enhance safe return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2016;25(1):192-199.
 19. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, et al. Fifty-five percent return to competitive sport following anterior cruciate ligament surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med* 2014;48:1543-52.
 20. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, et al. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med* 2011;45:596-606.
 21. Shah VM, Andrews JR, Fleisig GS, et al. Return to play after anterior cruciate ligament reconstruction in National Football League athletes. *Am J Sports Med* 2010;38:2233-9.
 22. Brophy RH, Schmitz L, Wright RW, et al. Return to play and future ACL injury risk after ACL reconstruction in soccer athletes from the Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) group. *Am J Sports Med* 2012;40:2517-22.
 23. Lesiones y enfermedades de la rodilla: MedlinePlus en español [Internet]. Medlineplus.gov. 2017 [cited 28 June 2017]. Available from: <https://medlineplus.gov/spanish/kneeinjuriesanddisorders.html>
 24. Krutsch W, Zeman F, Zellner J, Pfeifer C, Nerlich M, Angele P. Increase in ACL and PCL injuries after implementation of a new professional football league. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2014;24(7):2271-2279.
 25. Anatomía de la rodilla [Internet]. Biolaster.com. 2017 [cited 27 April 2017]. Available from: <https://www.biolaster.com/traumatologia/rodilla/anatomia>
 26. Eiroa J, González M, Navarro R. La tendinitis rotuliana, una de las lesiones más frecuentes en el ciclismo. Pautas para su tratamiento y recuperación [Internet]. Efdportes.com. 2017 [cited 27 April 2017]. Available from: <http://www.efdeportes.com/efd142/la-tendinitis-rotuliana-en-el-ciclismo.htm>51. Varios autores: Anatomía humana general. Universidad de Sevilla. Consultado el 13 de noviembre de 2011
 27. Santos Gutiérrez L. Síntesis de anatomía humana. Salamanca: Universidad; 1989.
 28. Girgis F, Marshall J, Monagem A. The cruciate ligaments of the knee joint. *Clin Orthop*. 1975;106:216-222.
 29. Biblioteca Nacional de Medicina de los EE.UU. Lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) [Internet]. Medlineplus.gov. 2017 [cited 17 April 2017]. Available from: [tps://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001074.htm](https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001074.htm)
 30. Sugimoto D, Alentorn-Geli E, Mendiguchía J, Samuelsson K, Karlsson J, Myer G. Biomechanical and Neuromuscular Characteristics of Male Athletes: Implications for the Development of Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Programs. *Sports Medicine*. 2015;45(6):809-822.
 31. Pallis M, Svoboda S, Cameron K, Owens B. Survival Comparison of Allograft and Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction at the United States Military Academy. *The American Journal of Sports Medicine*. 2012;40(6):1242-1246.
 32. Kaeding C, Aros B, Pedroza A, Pifel E, Amendola A, Andrich J et al. Allograft Versus Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Sports Health*. 2011;3(1):73-81.
 33. Mehta VM, Mandala C, Foster D, Petsche TS: Comparison of revision rates in bone-patella tendon-bone autograft and allograft anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthopedics* 2010;33(1):12.
 34. Kraeutler MJ, Bravman JT, McCarty EC: Bone-patellar tendon-bone autograft versus allograft in outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis of 5182 patients. *Am J Sports Med* 2013;41 (10):2439-2448.
 35. Aglietti P, Buzzi R, Zaccherotti G, De Biase P: Patellar tendon versus doubled semitendinosus and gracilis tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1994;22(2):211-217.
 36. Ellman M, Sherman S, Forsythe B, Laprade R, Cole B, Bach B. Return to Play Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2015;23(5):283-295.
 37. Sugimoto D, Myer G, Barber Foss K, Pepin M, Micheli L, Hewett T. Critical components of neuromuscular training to reduce ACL injury risk in female athletes: meta-regression analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50(20):1259-1266.
 38. Biblioteca Nacional de Medicina de los EE.UU. Reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) [Internet]. Medlineplus.gov. 2017 [cited 17 April 2017]. Available from: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007208.htm>
 39. Fox A, Bonacci J, McLean S, Spittle M, Saunders N. A Systematic Evaluation of Field-Based Screening Methods for the Assessment of Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injury Risk. *Sports Medicine*. 2015;46(5):715-735.
 40. Noyes F, Barber-Westin S. Neuromuscular Retraining Intervention Programs: Do They Reduce Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury Rates in Adolescent Female Athletes?. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2014;30(2):245-255.

41. Di Stasi S, Myer G, Hewett T. Neuromuscular Training to Target Deficits Associated With Second Anterior Cruciate Ligament Injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2013;43(11):777-A11.
42. Kent M. Ground reaction force. 3rd ed. Oxford dictionary of sports science and medicine. Oxford: Oxford University Press; 2007.
43. Ground of reaction force [Internet]. Health Science Center. 2017 [cited 27 June 2017]. Available from: <http://ouhsc.edu/Default.aspx?TabID=191&404>; <http://moon.ouhsc.edu:80/dthompso/gait/kinetics/GRFBKGNLND.HTM>
44. Ground of Reaction Force [Internet]. Hyperphysics. 2017 [cited 27 June 2017]. Available from: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/frict2.html>
45. Ball N, Stock C, Scurr J. Bilateral Contact Ground Reaction Forces and Contact Times During Plyometric Drop Jumping. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24(10):2762-2769.
46. Clarke S, Kenny I, Harrison A. Dynamic Knee Joint Mechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2015;47(1):120-127.
47. Benjaminse A, Otten B, Gokeler A, Diercks R, Lemmink K. Motor learning strategies in basketball players and its implications for ACL injury prevention: a randomized controlled trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2015;.
48. Goerger B, Marshall S, Beutler A, Blackburn J, Wilckens J, Padua D. Anterior cruciate ligament injury alters preinjury lower extremity biomechanics in the injured and uninjured leg: the JUMP-ACL study. *British Journal of Sports Medicine*. 2014;49(3):188-195.
49. Zebis M, Andersen L, Brandt M, Myklebust G, Bencke J, Lauridsen H et al. Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes: a randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*. 2015;50(9):552-557.
50. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg M. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50(13):804-808.
51. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, 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;33:492-501.
52. Benjaminse A, Gokeler A, Dowling A, Faigenbaum A, Ford K, Hewett T et al. Optimization of the Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Paradigm: Novel Feedback Techniques to Enhance Motor Learning and Reduce Injury Risk. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2015;45(3):170-182.
53. Thomeé R, Waldén M, Hägglund M. Return to sports after anterior cruciate ligament injury: neither surgery nor rehabilitation alone guarantees success—it is much more complicated. *British Journal of Sports Medicine*. 2015;49(22):1422-1422.
54. Lynch A, Logerstedt D, Grindem H, Eitzen I, Hicks G, Axe M et al. Consensus criteria for defining 'successful outcome' after ACL injury and reconstruction: a Delaware-Oslo ACL cohort investigation. *British Journal of Sports Medicine*. 2013;49(5):335-342.
55. Müller U, Krüger-Franke M, Schmidt M, Rosemeyer B. Predictive parameters for return to pre-injury level of sport 6 months following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2014;23(12):3623-3631.
56. Grindem H, Granan L, Risberg M, Engebretsen L, Snyder-Mackler L, Eitzen I. How does a combined preoperative and postoperative rehabilitation programme influence the outcome of ACL reconstruction 2 years after surgery? A comparison between patients in the Delaware-Oslo ACL Cohort and the Norwegian National Knee Ligament Registry. *British Journal of Sports Medicine*. 2014;49(6):385-389.
57. Editorial: Return to Sport: When to Resume Full Activity After an ACL Surgery. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2014;44(12):924-924.
58. Hildebrandt C, Müller L, Zisch B, Huber R, Fink C, Raschner C. Erratum to: Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part I: development of a new test battery. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2015;23(5):1282-1282.
59. Ardern C, Österberg A, Tagesson S, Gauffin H, Webster K, Kvist J. The impact of psychological readiness to return to sport and recreational activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*. 2014;48(22):1613-1619.
60. Everhart J, Best T, Flanigan D. Psychological predictors of anterior cruciate ligament reconstruction outcomes: a systematic review. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2013;23(3):752-762.
61. Christino M, Fantry A, Vopat B. Psychological Aspects of Recovery Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2015;23(8):501-509.
62. Grooms D, Appelbaum G, Onate J. Neuroplasticity Following Anterior Cruciate Ligament Injury: A Framework for Visual-Motor Training Approaches in Rehabilitation. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2015;45(5):381-393.
63. Karlsson J, Becker R. Return to sports after ACL reconstruction: individual considerations. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2015;23(5):1271-1272.
64. Hewett T, Myer G, Ford K, Paterno M, Quatman C. Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries:

Cut risk with three sharpened and validated tools. *Journal of Orthopaedic Research*. 2016;34(11):1843-1855.

65. Wojtys E, Beaulieu M, Ashton-Miller J. New perspectives on ACL injury: On the role of repetitive sub-maxi-

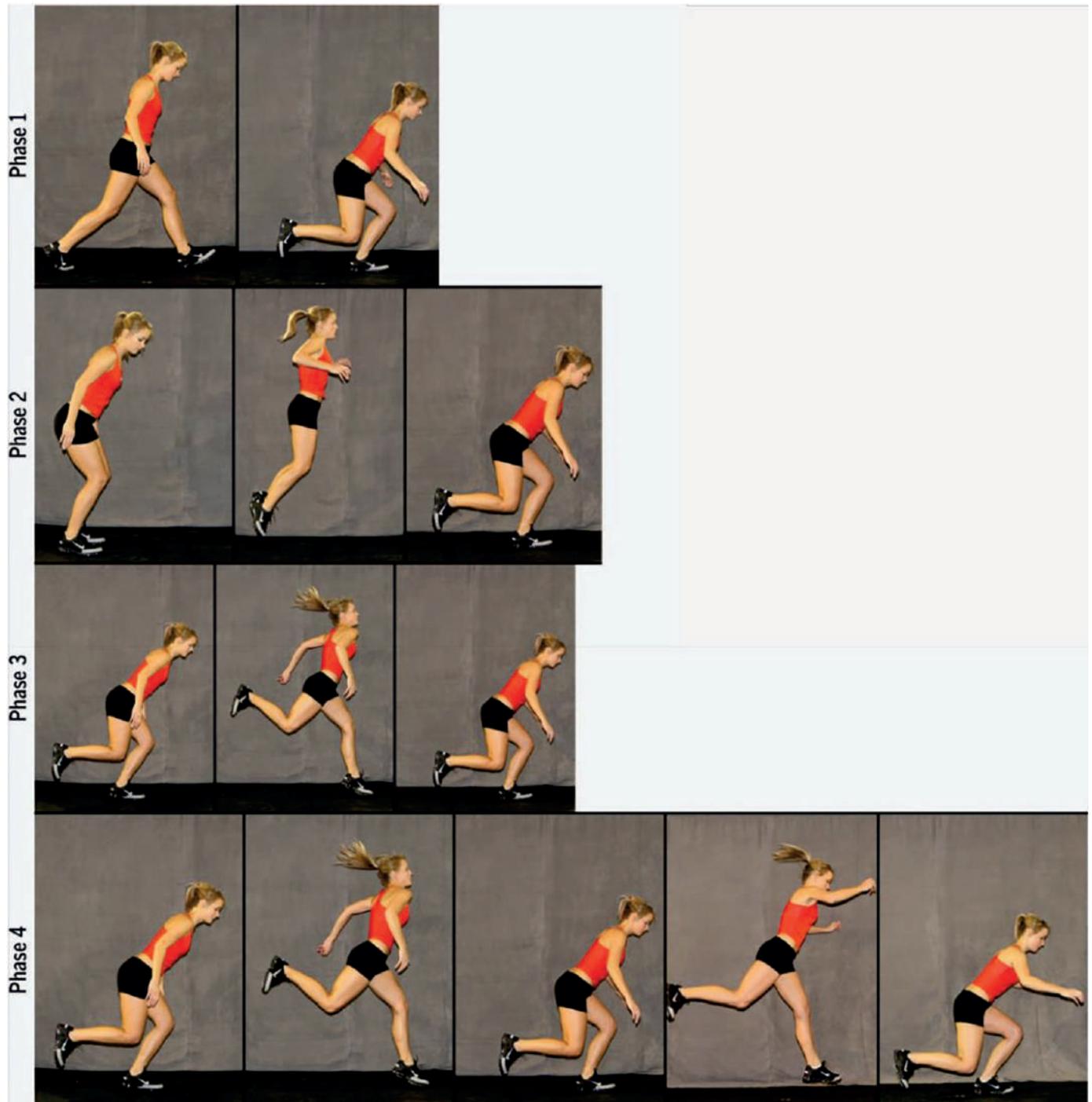
mal knee loading in causing ACL fatigue failure. *Journal of Orthopaedic Research*. 2016;34(12):2059-2068.

66. Anterior Cruciate Ligament Surgery: Optimize Return to Activity and Minimize Risk of a Second Injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2013;43(11):793-793.

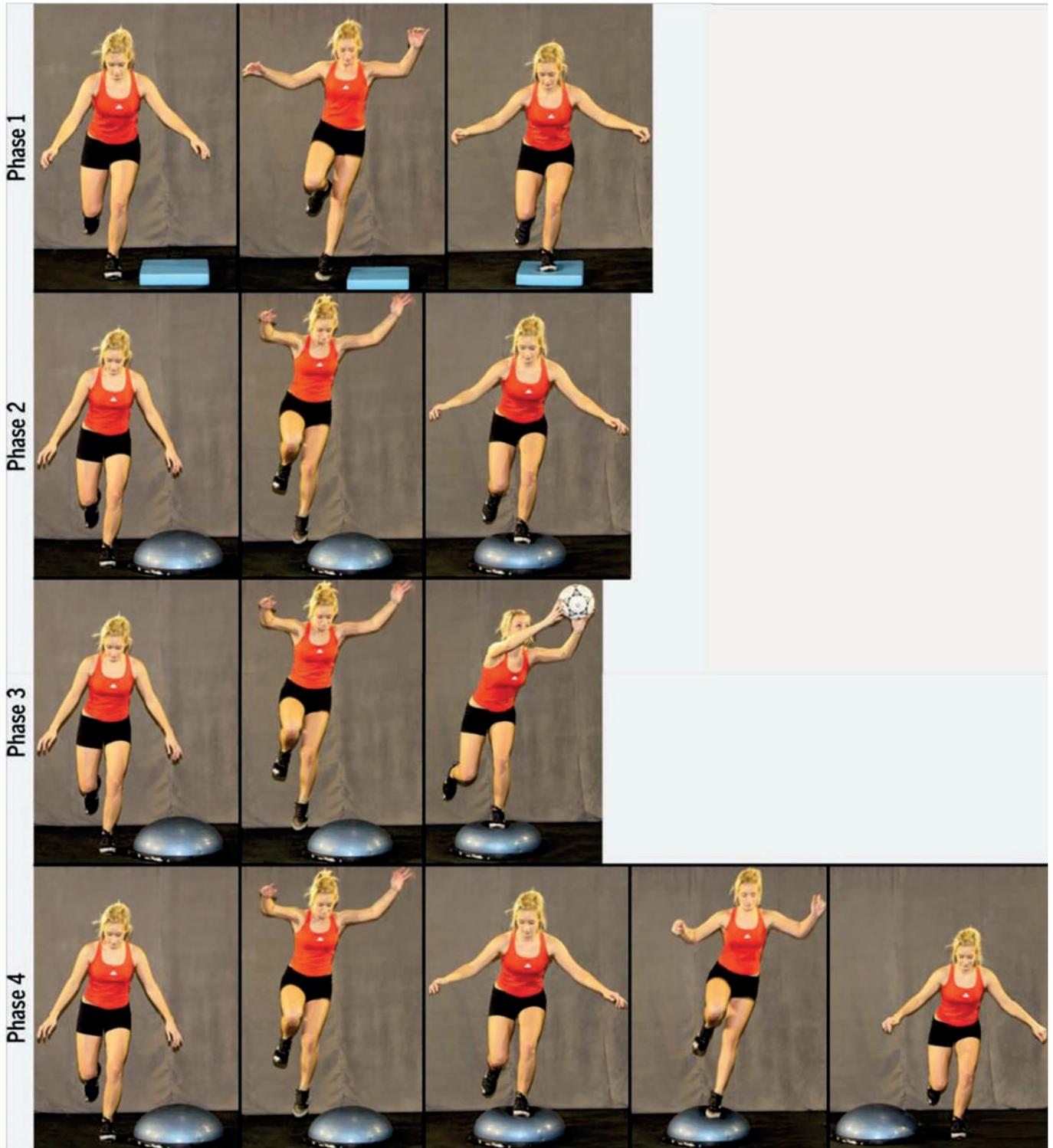
APÉNDICES

Apéndice 1

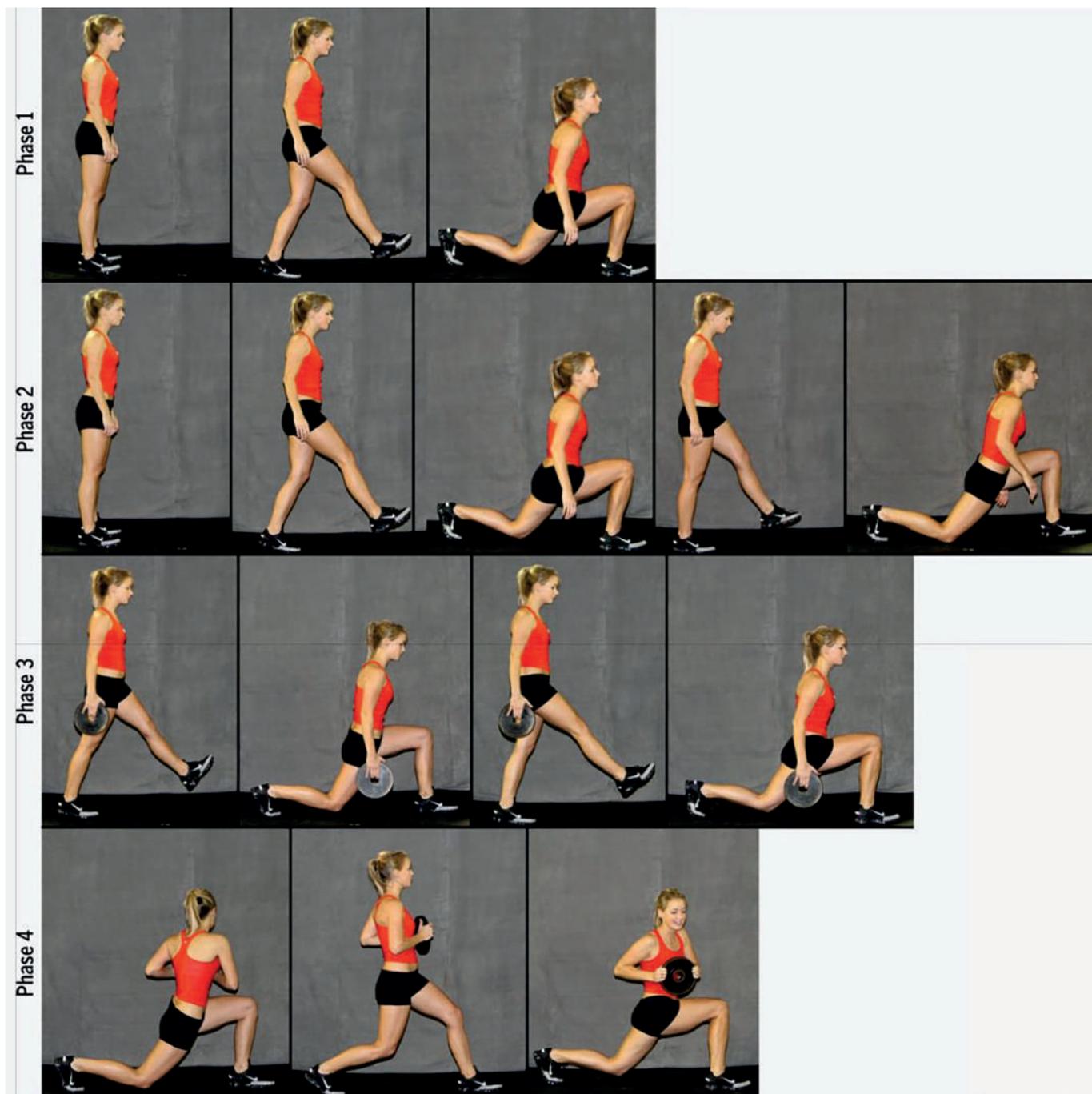
Progresión del salto anterior con una sola pierna



Progresión del salto lateral con una sola pierna



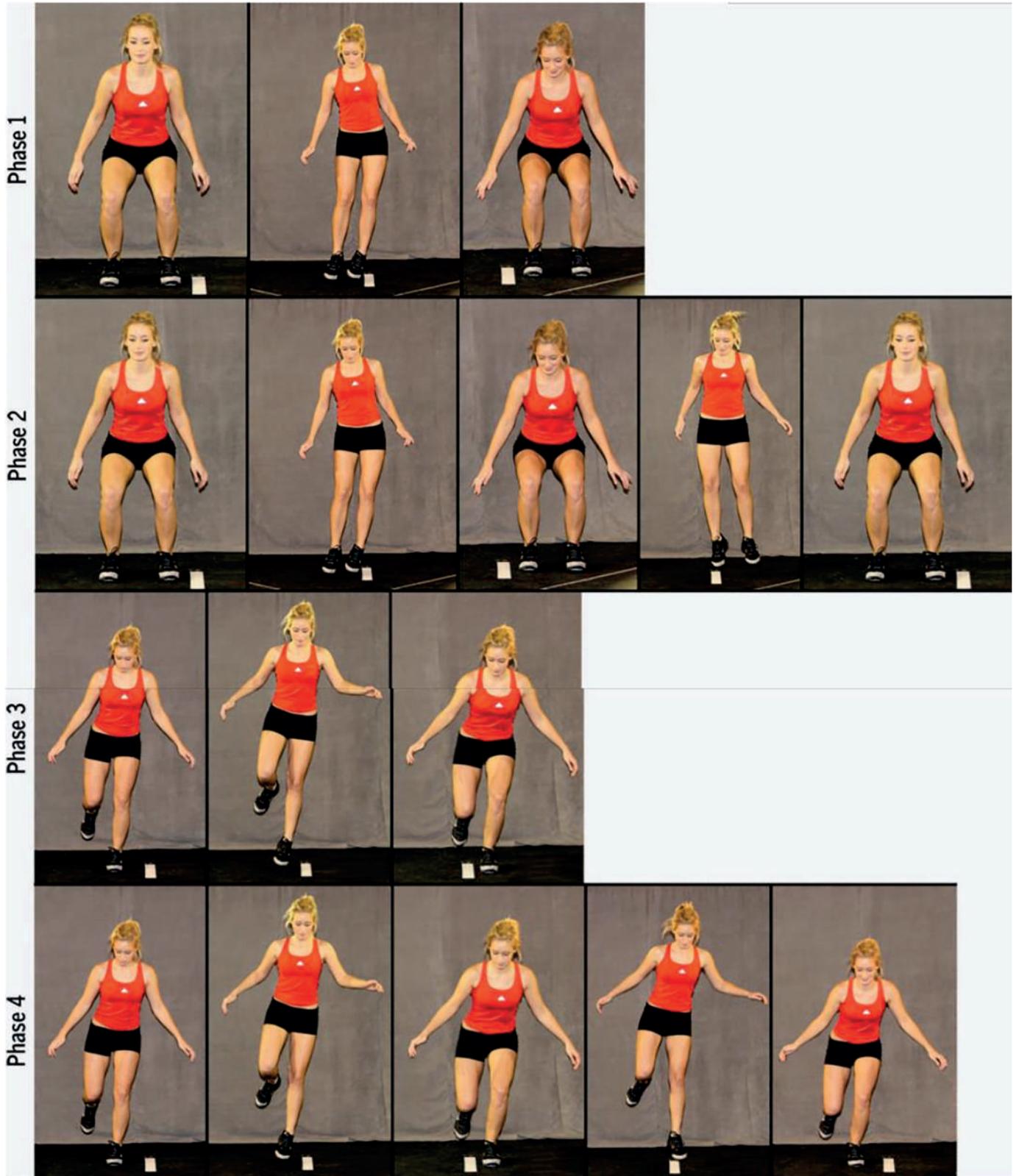
Progresión de la zancada



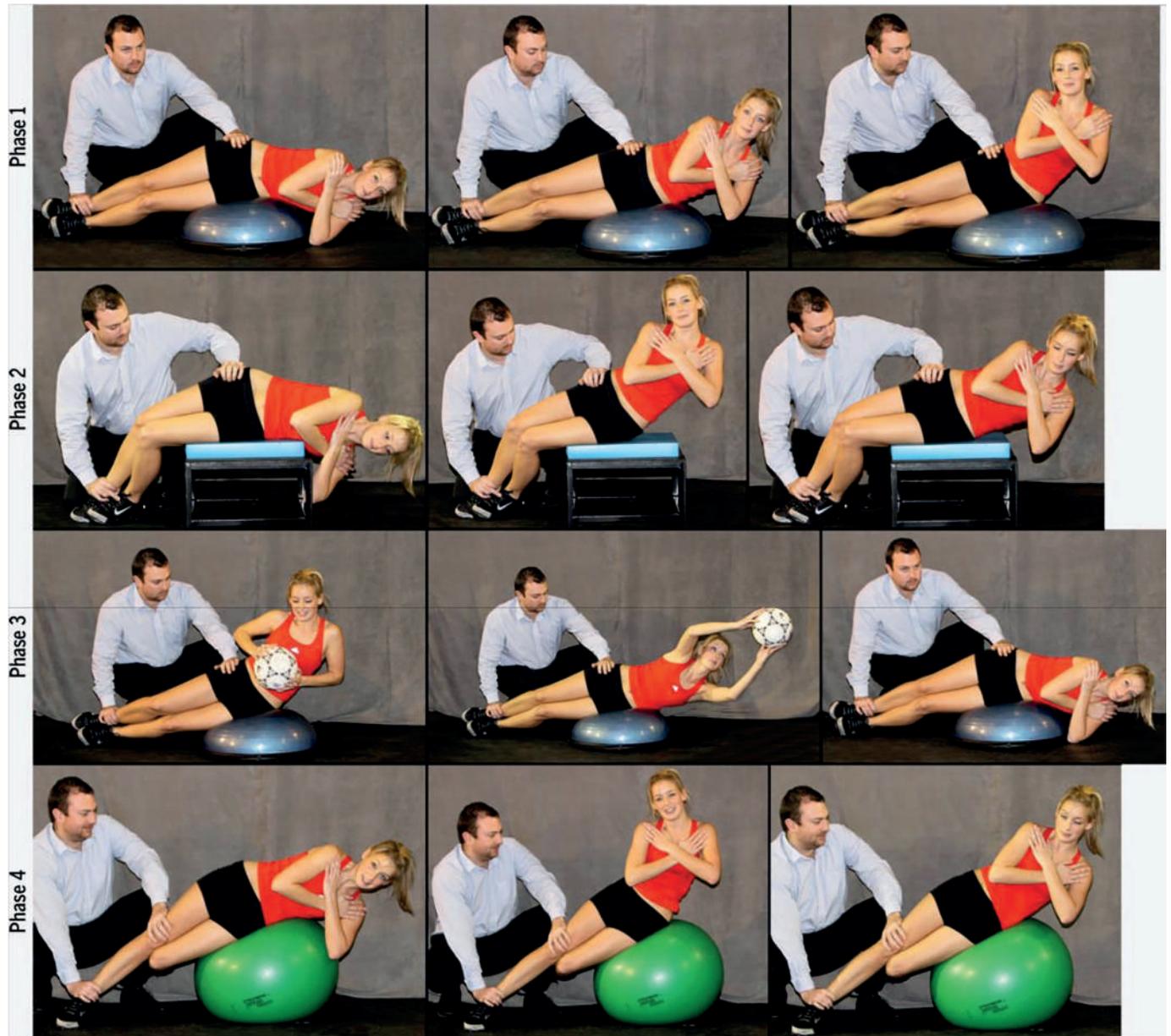
Progresión del salto



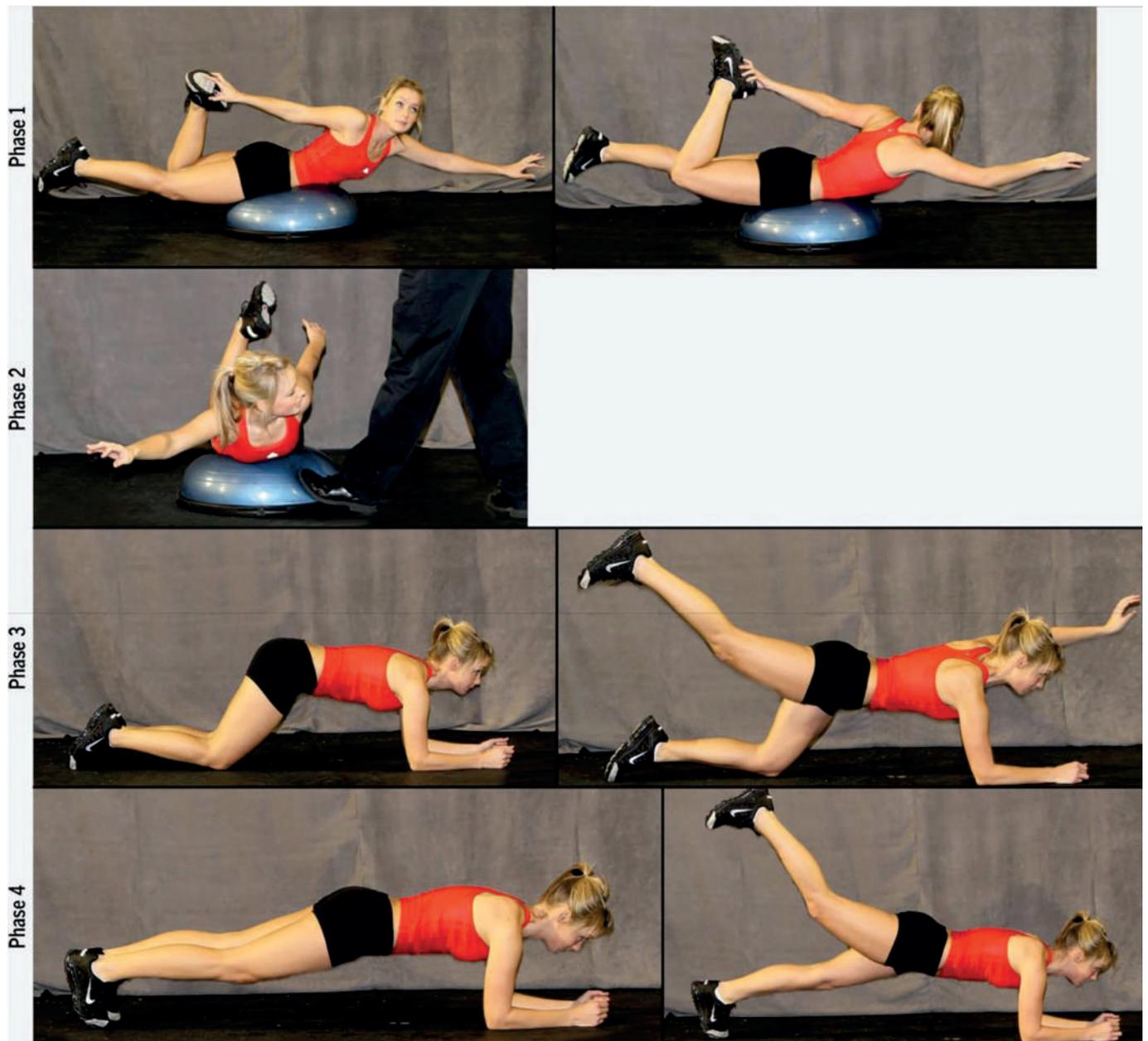
Progresión del salto lateral



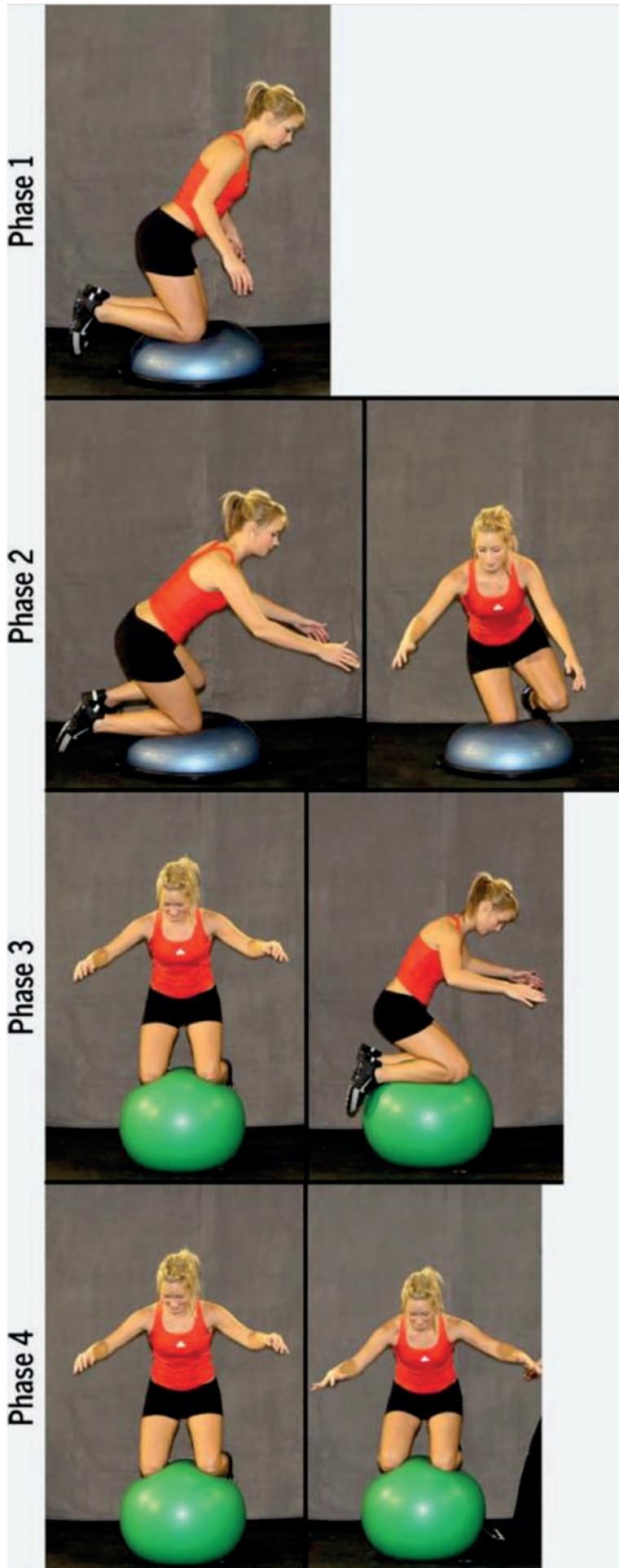
Progresión de extensión lateral de tronco



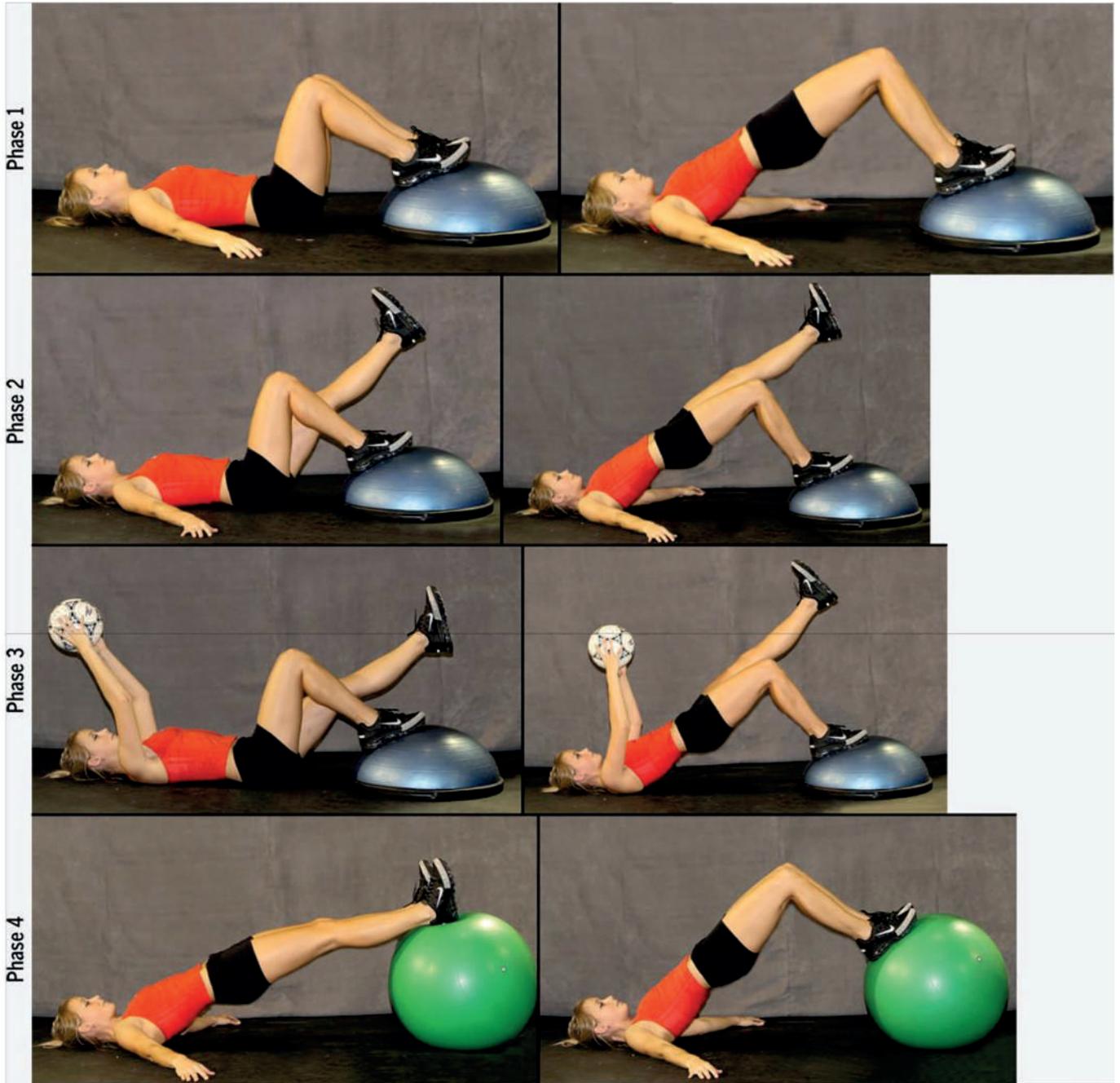
Ejercicios de estabilidad del tronco



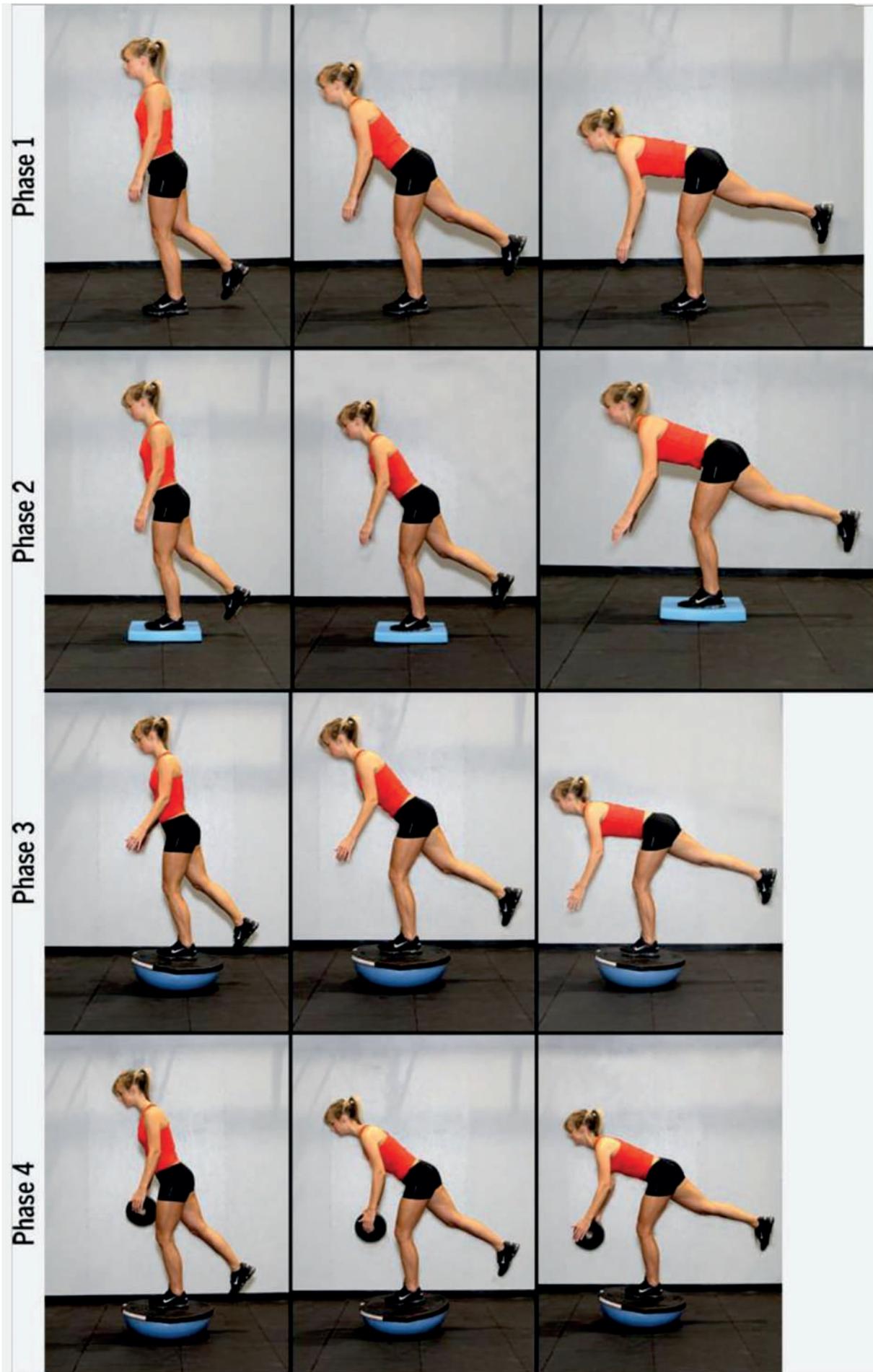
Ejercicios de apoyo sobre rodillas



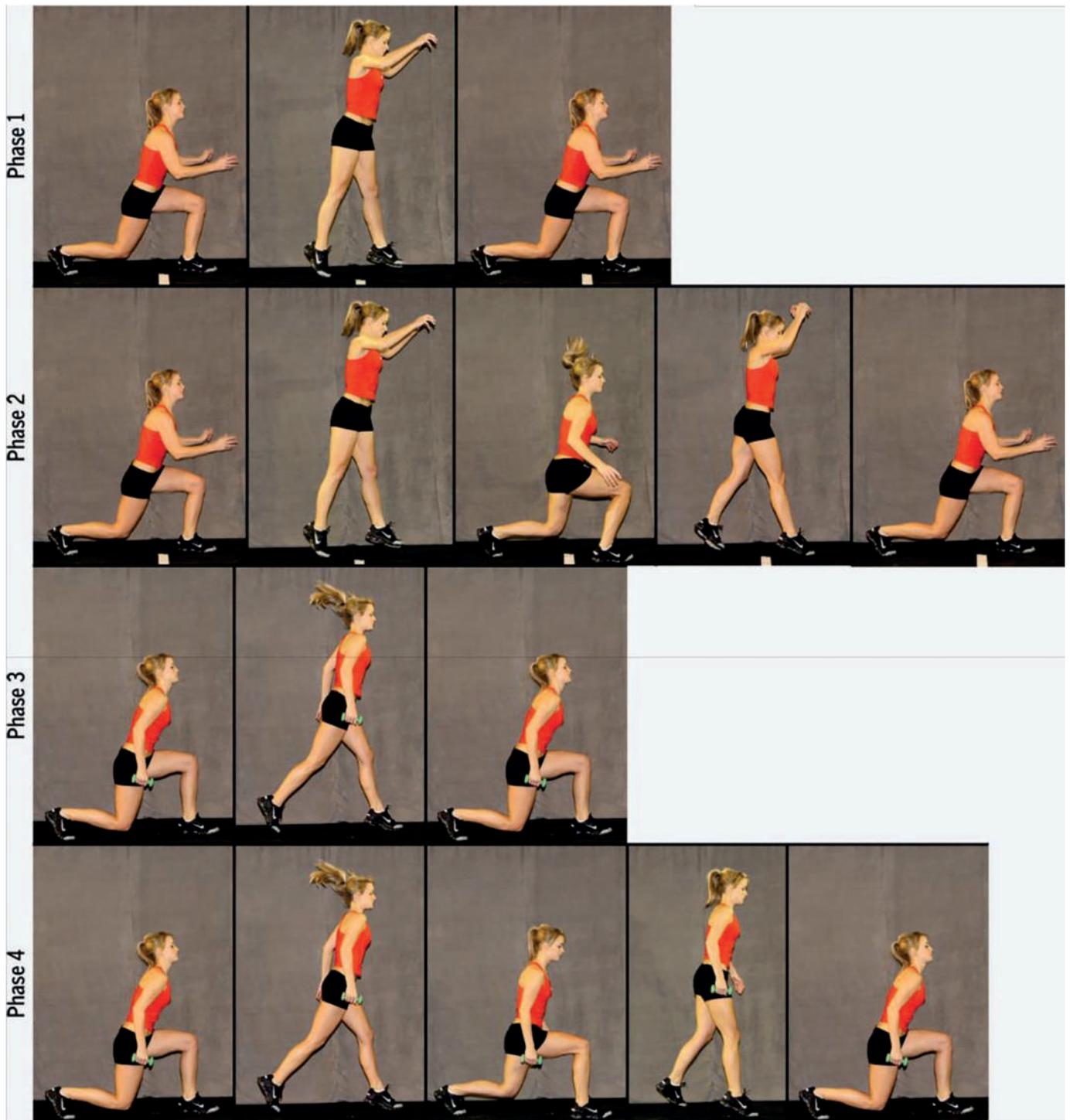
Progresión de la cadena anterior



Progresión del peso muerto monopodal



Progresión de salto de zancada



Apéndice 2

Author	Year	Design	Methods	Results	Method. quality
De Valk ⁴⁰	2013	SR	Reviewing articles about prognostic patient and injury factors for successful rehabilitation. <i>Included the following studies: 42,44,47,48.</i>	1) Preoperative predictors for postoperative outcome Better functional outcomes for men, patients younger than 30 years, patients with ACLR within 3 months after injury and high baseline activity level. Smoking, high BMI, quadriceps strength deficits and ROM deficits guaranteed worse functional outcomes.	A2
Shaarani ⁴¹	2013	RCT	Six weeks of preoperative rehabilitation versus no preoperative rehabilitation before ACLR with BPTB. Follow-up until 12 weeks postoperative. N=39	No differences for isokinetic concentric quadriceps and hamstring strength. The preoperative rehabilitation group had a better self-reported knee function (Cincinnati Knee Score) and function (hop for distance).	B
Eitzen ⁴²	2009	PC	Identifying preoperative factors for knee function after ACLR with BPTB. Follow-up 2 years. N=73	Isokinetic quadriceps strength, meniscus injury and de SF-36 Bodily Pain subscore were identified as predictors for self-reported knee function (Cincinnati Knee Score) after ACL reconstruction. An isokinetic preoperative quadriceps strength deficit above 20% predicts persistent strength deficits after 2 years.	B
Grindem ⁴³	2015	PC	Investigating the difference between a combined preoperative and postoperative rehabilitation and a usual care rehabilitation after ACLR with BPTB or HS. Follow-up 2 years. N=84 resp. 2690	The combined group had better preoperative and postoperative self-reported knee function (KOOS).	C
Heijne ⁴⁴	2009	PC	Identifying preoperative factors for knee function after ACLR with BPTB or HS. Follow-up 12-16 months. N=64	A low degree of anterior knee pain is the most important predictor for good self-reported knee function (KOOS).	A2
Lepley ⁴⁵	2015	PC	Identifying if preoperative quadriceps activation or strength predict postoperative quadriceps activation or strength after ACLR with BPTB. Follow-up 7.2 months (moment of return to sports). N=54	Preoperative quadriceps activation was positively related to postoperative quadriceps activation, but not to postoperative isometric quadriceps strength (90°). Preoperative isometric quadriceps strength was positively related to postoperative strength.	B
Månsson ⁴⁶	2013	PC	Identifying preoperative factors for knee function after ACLR with HS. Follow-up 22 to 36 months. N=73	Preoperative activity level (Tegner) is an important predictor of self-reported knee function (KOOS, SF-36).	C
McHugh ⁴⁷	1998	PC	Determining what degree of motion loss represents a risk for postoperative motion problems and if preoperative weakness affects return of strength following ACLR with BPTB. Follow-up 6 months. N=102	The magnitude of preoperative extension loss is no risk factor. It is the presence of absence of full extension (left=right) that predicts risk for postoperative extension problems. Preoperative concentric isokinetic strength was not a good predictor of residual weakness.	B
McHugh ⁴⁸	2002	PC	Determining if preoperative electromyographic analysis can predict residual muscle weakness after ACLR with BPTB. Follow-up 6 months. N=37	A combination of the preoperative median frequency deficit and the 5-week postoperative isometric strength deficit is the best predictor of residual weakness.	B

Author	Year	Study Design	Intervention / Description	Outcomes / Conclusions	Grade
Quelard ⁴⁹	2010	PC	Determining preoperative factors associated with prolonged range of motion deficit after ACLR with BPTB. Follow-up 3 months. N=217	Preoperative limited range of motion and combined bone bruises of the lateral femoral condyle and tibia plateau are risk factors for a limited range of motion.	B
2) Effectiveness of physical therapy					
Coppola ⁵⁰	2009	SR	Reviewing RCT's about recovery following knee surgery, comparing supervised physical therapy to an unsupervised home exercise program. <i>Included none of the studies below.</i>	Many studies had designs that biased the home exercise group, providing similar results to that provided by supervised physical therapy. There is a lack of evidence regarding complicated knee surgical procedures as ACLR.	A1
van Grinsven ⁵¹	2010	SR	Reviewing articles to develop an optimal evidence-based rehabilitation protocol after ACLR. <i>Included the following studies: 54,67-69,85,90.</i>	An accelerated rehabilitation protocol without postoperative bracing, in which reduction of pain, swelling and inflammation, regaining ROM, strength and neuromuscular control are the most important aims, has important advantages and does not lead to stability problems.	B
Wright ⁵²	2008	SR	Reviewing RCT's about home-based rehabilitation after ACLR. <i>Included the following study: 53.</i>	A minimally supervised physical therapy program can result in successful ACL rehabilitation.	A1
Beard ⁵³	1998	RCT	Home program plus supervised rehabilitation versus home program alone from weeks 4-16 after ACLR with BPTB. Follow-up 24 weeks. N=26	No differences in self-reported knee function (Lysholm, IKDC), laxity and concentric isokinetic quadriceps and hamstring strength.	B
Beynon ⁵⁴	2005	RCT	Accelerated (19 weeks) versus nonaccelerated (32 weeks) rehabilitation after ACLR with BPTB. Follow-up 2 years. N= 22	No differences in self-reported knee function (IKDC, Tegner, KOOS), laxity, ROM, single-leg hop for distance or biomarkers of articular cartilage metabolism.	B
Beynon ⁵⁵	2011	RCT	Accelerated (19 weeks) versus nonaccelerated (32 weeks) rehabilitation after ACLR with BPTB. Follow-up 2 years. N=42	No differences between groups on laxity, self-reported knee function (IKDC, Tegner, KOOS), single-leg hop for distance, proprioception or isokinetic concentric quadriceps strength.	A2
Grant ⁵⁶	2010	RCT	Physical therapy supervised rehabilitation (17 sessions) versus home-based rehabilitation (4 sessions) during the first 3 months after ACLR with BPTB. Follow-up 2-4 years. N=88	Better self-reported knee function (ACL-QOL) for the home-based group. No differences in ROM, laxity and isokinetic concentric quadriceps and hamstring strength.	B
Hohmann ⁵⁷	2011	RCT	Physical therapy supervised rehabilitation (19 sessions) versus home-based rehabilitation (4 sessions) after ACLR with BPTB. Follow-up 1 year. N=40	No differences in self-reported knee function (Lysholm, Tegner), function (hop for distance, timed hop and vertical jump) or isometric and isokinetic concentric and eccentric quadriceps and hamstring strength.	B
Dragicevic-Cvijetovic ⁵⁸	2014	PC	Investigating the difference between postoperative rehabilitation for 20 weeks and no rehabilitation at all after ACLR with HS. Follow-up 1 year. N=70	The rehabilitation group had a greater improvement self-reported knee function (Tegner, Lysholm) and in thigh muscle circumference.	C
Muneta ⁵⁹	1998	PC	Determining the effect of aggressive early rehabilitation after ACLR with BPTB or HS. Mean follow-up 20 months. N=103	No differences between patients operated with BPTB or HS and between men and women for laxity, ROM, self-reported knee function (Lysholm, Tegner), patellofemoral grinding or	B

				isokinetic concentric quadriceps and hamstring strength.	
Andersson ⁶⁰	2009	SR	<p>3) Open versus closed kinetic chain quadriceps exercises</p> <p>Reviewing RCT's about rehabilitations aspects after ACLR. <i>Included the following studies: 64,67-69.</i></p>	CKC exercises produce less pain, less risk of increased laxity and better self-reported knee function after ACL reconstruction with BPTB. Further studies are needed for ACLR with HS.	A1
Glass ⁶¹	2010	SR	Reviewing RCT's about the effects of CKC and OKC quadriceps exercises on the knees of patients after ACLR. <i>Included the following studies: 67-69.</i>	Both CKC and OKC are beneficial for this patient population. An optimal time for initiation of OKC exercises is at least 6 weeks after ACL reconstruction.	A1
Lobb ⁶²	2012	SR	Evaluating systematic reviews on interventions after ACLR. <i>Included the following study: 60.</i>	There is moderate evidence that there are no differences between CKC and OKC for pain, laxity and function. There is limited evidence that a combination of CKC and OKC results in better strength and return to sports than CKC alone.	A1
Wright ⁶³	2008	SR	Reviewing RCT's about the effects of CKC versus OKC exercises. <i>Included the following studies: 64,67,68.</i>	Until further studies are performed, only CKC exercises should be used in the first 6 weeks after ACLR.	A1
Bynum ⁶⁴	1995	RCT	OKC versus CKC quadriceps exercises starting at week 1 after ACLR with BPTB. Follow-up 3 years. N=85	No differences in laxity, ROM, activity level (Tegner) or self-reported knee function (Lysholm).	B
Fukuda ⁶⁵	2013	RCT	OKC quadriceps exercises starting at 4 weeks in a restricted ROM versus OKC quadriceps exercises starting at 12 weeks after ACLR with HS. Follow-up 17 months. N=35	No differences in laxity, pain or function (hop for distance, crossover hop, Lysholm). Starting OKC exercises at 4 weeks results in a faster recovery of isometric quadriceps strength than starting OKC at 12 weeks.	B
Heijne ⁶⁶	2007	RCT	OKC quadriceps exercises starting 4 weeks after ACL reconstruction versus OKC quadriceps exercises starting 12 weeks after ACLR. Comparing BPTB with HS. Follow-up 7 months. N=52.	More laxity for HS starting at 4 weeks compared to HS starting at 12 weeks and BPTB starting at 4 or 12 weeks. Starting OKC at 4 weeks had no additional benefit for isokinetic concentric and eccentric quadriceps strength compared to starting OKC at 12 weeks.	B
Mikkelsen ⁶⁷	2000	RCT	CKC versus combined OKC and CKC quadriceps exercises starting 6 weeks after ACLR with BPTB. Follow-up at 6 months. N=44	The addition of OKC results in a higher isokinetic concentric and eccentric quadriceps strength and a higher number of athletes returning to their preinjury sport level. There are no differences on laxity or hamstring strength.	B
Morrissey ⁶⁸	2002	RCT	CKC versus OKC quadriceps exercises from weeks 2-6 after ACLR with BPTB. Follow-up at week 6. N=43	No differences in anterior knee pain.	B
Perry ⁶⁹	2005	RCT	CKC versus OKC quadriceps exercises from weeks 8-14 after ACLR with BPTB or HS. Follow-up at week 14. N=49	No differences in laxity, self-reported knee function (VAS) or function (vertical hop, hop for distance, triple crossover hop).	B
Uçar ⁷⁰	2014	RCT	CKC versus OKC quadriceps exercises after ACLR with HS. Follow-up 6 months. N=58	Both groups improved in self-reported knee function (VAS, Lysholm) and knee flexion angle. There were no differences in thigh circumference. There were no differences between groups.	B

4) Strength training and neuromuscular training

Augustsson ⁷¹	2012	SR	Reviewing RCT's about strength training during rehabilitation after ACLR. <i>Included the following studies: 67,68,78,85,87.</i>	ACL R strength training protocols should be further developed, including documentation about training frequency, intensity, volume, progression and duration.	A1
Gokele ⁷²	2013	SR	Reviewing RCT's about the most effective practices for quadriceps strengthening after ACLR. <i>Included the following studies: 66,80,82,85,87-90.</i>	Eccentric training may be most effective to restore quadriceps strength, but neuromuscular training should be added to optimize outcome measurements.	A1
Kruse ⁷³	2012	SR	Reviewing RCT's about strength training and neuromuscular training during rehabilitation after ACLR. <i>Included the following studies: 80-83,89,90.</i>	Eccentric quadriceps strengthening can be safely incorporated 3 weeks after ACLR. Neuromuscular exercises should be added to strengthening exercises.	A1
Baltaci ⁷⁴	2013	RCT	Wii Fit versus conventional rehabilitation (combined strength and neuromuscular training) from weeks 1-12 after ACLR with HS. Follow-up at 12 weeks. N=30	No differences in isokinetic concentric quadriceps and hamstring strength, dynamic balance, proprioception or coordination.	B
Bertschin ⁷⁵	2014	RCT	Strength training versus whole-body vibration during 10 weeks starting 2 weeks after ACLR with BPTB. Follow-up at week 11. N=40	The group with whole-body vibration training had better postural control.	B
Bielier ⁷⁶	2014	RCT	High-resistance training versus low-resistance training from week 8 after ACLR with BPTB or HS. Follow-up 20 weeks. N=38	No differences in self-reported knee function (Lysholm), flexion and extension ROM, laxity, isometric quadriceps and hamstring strength.	B
Cappellino ⁷⁷	2012	RCT	Neurocognitive rehabilitation versus conventional rehabilitation (strength) after ACLR with BPTB. Follow-up 6 months. N=14	The high-resistance training group had a higher increase in quadriceps power.	B
Cooper ⁷⁸	2005	RCT	Strength training versus proprioceptive and balance training during 6 weeks starting 45-50 days after ACLR with BPTB or HS. Follow-up after 6 weeks of training. N=29	No differences in laxity, self-reported knee function (KOOS) and function (hop for distance and triple hop for distance). No differences in static or dynamic baropodometry, pain, effusion, self-reported knee function (SF-36) and isometric quadriceps and hamstring strength.	B
Fu ⁷⁹	2013	RCT	Conventional rehabilitation versus conventional training plus whole-body vibration therapy during 8 weeks starting 1 month after ACLR. Follow-up 6 months. N = 48	The strength training group has more improvement on self-reported knee function (Cincinnati Knee Score). No differences in ROM, pain or function (hop for distance, timed hop, triple crossover hop).	B
Gerber ⁸⁰	2007	RCT	Conventional training versus eccentric training during 12 weeks starting 3 weeks after ACLR with BPTB or HS. Follow-up 26 weeks. N=32	The group with the whole-body vibration has better postural control, hop for distance, shuttle run test and isokinetic concentric quadriceps and hamstring strength. No differences in ROM, laxity, joint position sense, triple hop test and carioaca test.	B
Gerber ⁸¹	2007	RCT	Conventional training versus eccentric training during 12	Isokinetic concentric quadriceps strength and hop for distance improved more and activity level decreased less in the eccentric training group. No differences in pain, effusion or laxity. The volume and cross-sectional area of the quadriceps and	B

Gerber ⁸²	2009	RCT	weeks starting 3 weeks after ACLR with BPTB or HS. Follow-up after 12 weeks. N=40	gluteus maximus improved more in the eccentric training group. Also concentric isokinetic quadriceps strength improved more in the eccentric training group. No differences in laxity, hop for distance, hamstring volume and cross-sectional area or self-reported knee function (Lysholm).	B
Isberg ⁸³	2006	RCT	Conventional training versus eccentric training during 12 weeks starting 3 weeks after ACLR with BPTB or HS. Follow-up 1 year. N=32 (exactly the same population as Gerber 2007-01)	The volume of the quadriceps and gluteus maximus, hop for distance and concentric isokinetic quadriceps strength improved more in the eccentric training group. No differences in laxity, hamstring volume or self-reported knee function (Lysholm, Tegner).	B
Kimikil ⁸⁴	2014	RCT	Active knee extension versus no active knee extension during the first 4 postoperative weeks after ACLR with BPTB. Follow-up 2 years. N=22	No differences in laxity, ROM, self-reported knee function (Lysholm, Tegner, IKDC) or single-leg hop for distance.	B
Liu-Ambrose ⁸⁵	2003	RCT	Conventional training versus conventional training plus progressive eccentric and concentric quadriceps and hamstring training during 12 weeks starting 3 weeks after ACLR with HS. Follow-up 16 weeks. N=33	The progressive training group had higher increases in self-reported knee function (Lysholm, ACL-QOL) and function (vertical jump and hop for distance). No differences in isokinetic quadriceps and hamstring strength.	B
Moezy ⁸⁶	2008	RCT	Strength training versus proprioceptive training during 12 weeks after ACLR with HS. Follow-up after 12 weeks. N=10	The proprioceptive training group had more improvement on concentric isokinetic quadriceps and eccentric isokinetic hamstring strength.	B
Risberg ⁸⁷	2007	RCT	Conventional training versus whole body vibration training during 1 month starting 12 weeks after ACLR with BPTB. Follow-up after 1 month of training. N=20	No differences in self-reported knee function (Lysholm), hop for distance and timed hop.	B
Risberg ⁸⁸	2009	RCT	Neuromuscular training versus traditional strength training during 6 months after ACLR with BPTB. Follow-up 6 months. N=65	Postural stability and joint reposition sense improved more in the whole body vibration group.	B
			Neuromuscular training versus traditional strength training during 6 months after ACLR with BPTB. Follow-up 2 years. N=60	The neuromuscular group had a better self-reported knee function (Cincinnati Knee Score and VAS for global knee function). No differences in pain, concentric isokinetic quadriceps and hamstring strength, static and dynamic balance, proprioception and hop performance (hop for distance, triple hop, stair hop). The neuromuscular group had less pain and a better VAS for global knee function. The strength group improved more on concentric isokinetic hamstring strength. No differences in Cincinnati Knee Score, hop performance (hop for distance, triple hop, stair hop) or concentric isokinetic	B

Sekir ⁸⁹	2010	RCT	Early (3 weeks) versus late (9 weeks) start of isokinetic hamstring strengthening exercise after ACLR with BPTB. Follow-up 1 year. N=26	quadriceps strength. The early group had a better Cincinnati Knee Score and a more improved isokinetic concentric hamstring strength. No differences in IKDC or isokinetic concentric quadriceps strength.	B
Shaw ⁹⁰	2005	RCT	Isometric quadriceps exercises versus no quadriceps exercises during the first 2 weeks after ACLR with BPTB or HS. Follow-up 6 months. N=91	No differences in pain, laxity, self-reported knee function (Cincinnati Knee Score), concentric and eccentric isokinetic quadriceps strength or hop performance (hop for distance, triple hop).	B
Tyler ⁹¹	1998	RCT	Immediate weight bearing versus non-weight bearing during the first 2 postoperative weeks after ACLR with BPTB. Follow-up 1 year. N=49	The immediate weight bearing group had less anterior knee pain. No differences in laxity, ROM and isometric vastus medialis EMG.	B
5) Electrostimulation and electromyographic feedback					
Imoto ⁹³	2011	SR	Reviewing RCT's about electrostimulation of the quadriceps after soft tissue injuries of the knee. <i>Included the following studies: 99,100.</i>	Electrostimulation, in combination with conventional rehabilitation, might be more effective for improving muscle strength and function for up to 2 months after ACLR than conventional rehabilitation alone.	A1
Kim ⁹⁴	2010	SR	Reviewing RCT's about electrostimulation of the quadriceps after ACLR. <i>Included the following studies: 99,100.</i>	Electrostimulation combined with exercise may be more effective in improving quadriceps strength than exercise alone, but its effect on functional performance and self-reported knee function is inconclusive.	A1
Wasielewski ⁹⁵	2011	SR	Reviewing RCT's about electromyographic biofeedback of the quadriceps after various knee conditions. <i>Included none of the studies below.</i>	Electromyographic feedback appeared to benefit short-term postsurgical pain and quadriceps strength after ACLR.	A1
Wright ⁶³	2008	SR	Reviewing RCT's about the effect of electrostimulation after ACLR. <i>Included the following studies: 99,100.</i>	Electrostimulation must be applied in a high-intensity setting early in the postoperative period. It may help achieve improved quadriceps strength but does not appear to be a requirement for successful rehabilitation.	A1
Christiane ⁹⁶	2012	RCT	Conventional rehabilitation versus conventional rehabilitation added with electromyographic biofeedback during the first 6 postoperative weeks after ACLR with BPTB. Follow-up 6 weeks. N=16	The biofeedback group had a better passive knee extension and a higher integrated EMG of the vastus medialis. There were no differences in passive knee flexion, pain, effusion or giving way.	B
Ediz ⁹⁷	2012	RCT	Conventional rehabilitation versus conventional rehabilitation added with electrostimulation of the quadriceps, hamstrings, tibialis anterior and triceps surae from the 4th postoperative day during 6 weeks after ACLR with HS. Follow-up 6 months. N=26 Electrostimulation: Intellect Advanced Therapy Stim, 30 Hz,	There are no differences between groups on effusion or pain.	B

Feil ⁹⁸	2011	RCT	65-100 mA, puls width 300 μ s, duty cycle 10s on and 20s off, 20 minutes per session, 5 days a week. Conventional rehabilitation versus conventional rehabilitation added with 2 different kinds of electrostimulation of the quadriceps with voluntary active contraction during 12 weeks after ACLR with HS. Follow-up 6 months. N=96 Electrostimulation: Polystim, 50 Hz, max 70 mA, duty cycle 10s on and 20s off, 1.5s ramp-up and 1s ramp-down; Kneehab, 50 Hz, max 70 mA, duty cycle 5s on and 10s off, 2s ramp-up and 1s ramp-down. 20 minutes per session, 3 times a day, 5 days a week. Conventional rehabilitation versus conventional rehabilitation added with electrostimulation of the quadriceps without voluntary active contraction after ACLR. Follow-up 16 weeks. N=43 Electrostimulation: VeraStim, 2500 Hz (alternating current), duty cycle 10s on and 50s off, 2s ramp-up and 2s ramp-down, 10 minutes per session, 2 times a week.	The Kneehab group had a higher increase in self-reported knee function (Lysholm), isokinetic concentric quadriceps strength and hop performance (hop for distance) than both the control group and the Polystim group. There were no differences in activity level (Tegner).	B
Fitzgerald ⁹⁹	2003	RCT	Conventional rehabilitation versus conventional rehabilitation added with electrostimulation of the quadriceps without voluntary active contraction after ACLR. Follow-up 16 weeks. N=43 Electrostimulation: VeraStim, 2500 Hz (alternating current), duty cycle 10s on and 50s off, 2s ramp-up and 2s ramp-down, 10 minutes per session, 2 times a week.	A greater proportion of the electrostimulation group achieved clinical criteria for advancing to agility training.	B
Paternostro-Sluga ¹⁰⁰	1999	RCT	Conventional rehabilitation versus conventional rehabilitation added with electrostimulation of the quadriceps and hamstrings during 6 weeks after ACLR with BPTB. Follow-up 1 year. N=49 Electrostimulation: Stiwel, 4 times set 1 (30 Hz, 5s on and 15s off, 12 reps) and 2 times set 2 (50 Hz, 10s on and 50s off, 12 reps), 30 minutes per session, 7 times a week. Conventional rehabilitation versus conventional training added with electrostimulation of the quadriceps during 1 month after ACLR with HS. Follow-up 3 months. N=80 Electrostimulation: Ionoson, 2500 Hz, max 67mA, duty cycle 10s on and 50s off, 30 minutes per session, 3 times a day, 5 times a week.	There were no differences on isometric quadriceps strength and isokinetic concentric quadriceps and hamstring strength.	A2
Taradaj ¹⁰¹	2013	RCT	Conventional rehabilitation versus conventional training added with electrostimulation of the quadriceps during 1 month after ACLR with HS. Follow-up 3 months. N=80 Electrostimulation: Ionoson, 2500 Hz, max 67mA, duty cycle 10s on and 50s off, 30 minutes per session, 3 times a day, 5 times a week.	The electrostimulation group had a higher increase in thigh circumference and isometric quadriceps strength.	B
Lepley ¹⁰²	2015	PC	Electrostimulation plus eccentric training versus electrostimulation or eccentric training alone during 12 weeks after ACLR with BPTB or HS. Follow-up >3 months. N=36 Electrostimulation: Intellect Legend XT, 2500 Hz, duty cycle 10s on and 50s off, 2s ramp-up, 10 minutes per session, 2 times a week.	No differences in ROM and knee extension and flexion moments.	C

Müller ¹¹	2015	PC	sports (<1 year) after ACL reconstruction. <i>Included none of the studies below.</i> Defining parameters that can predict successful return to preinjury sport 6 months after ACLR with HS. Follow-up 6 months. N=40	construct or predictive validity for return to sports. Patients that return to sport had better scores on the ACL-RSI and IKDC self-reported knee evaluation form and better function (hop for distance, triple hop and crossover hop). No differences in isometric quadriceps and hamstring strength or TSK-11. The non-operated leg had a better hop performance (vertical jump, hop for distance, side hop) than the operated leg. No differences in quadriceps and hamstring power between the operated and non-operated leg. When using an LSI of >90%, >95% or >100% on all 6 tests as a criterion, results are poor, because respectively 23%, 10% and 0% passes this criterion.	B
Thomeé ¹²	2012	PC	Describing leg muscle power and hop performance after ACL reconstruction with BPTB or HS. Follow-up 2 years. N=82		B
8) Return to play					
Ardern ¹³	2014	MA	Reviewing articles about return to play outcomes after ACLR. N=7556 <i>Included the following studies: 10,13,18,67,115.</i>	The rate of return to preinjury sport level was 65%. Men were 1.4 times more likely to return to their preinjury sport level than women. BPTB was 1.2 times more likely to return to preinjury sport level than HS.	A2
Ardern ¹⁴	2011	MA	Reviewing articles about return to play outcomes after ACLR. N=5770 <i>Included the following studies: 18,67,115.</i>	The rate of return to preinjury sport level was 62% for studies with a follow-up of more than 2 years. Fear of reinjury was the most common reason for a reduction in or cessation of sports participation.	A2
Everhart ¹³	2015	SR	Reviewing articles about psychological factors that affect return to play after ACLR. <i>Included the following studies: 18,115.</i>	A higher self-efficacy is positively associated with return to sports, while stress is negatively associated.	A2
te Wierike ¹⁴	2013	SR	Reviewing articles about psychosocial factors that affect recovery after ACL injury and reconstruction. <i>Included the following studies: 18,115,117.</i>	There were several psychosocial factors that facilitated the rehabilitation process: high internal locus of control, high self-efficacy, and low level of fear of reinjury.	B
Brophy ¹⁷	2012	PC	Determining the rate of return to soccer and the risk for future ACL injury after ACLR with BPTB. Mean follow-up 7.2 years. N=100	After 12.2 months 72% returned to soccer, of whom 85% played at the same or a higher level. After 7.2 years only 36% were still playing soccer, of whom 46% at the same or a higher level.	A2
Gobbi ¹¹⁵	2006	PC	Determining the rate of return to play and contributing factors after ACLR with BPTB or HS. Follow-up 2 years. N=100	There were 9% contralateral ACL injuries and 3% graft ruptures. ACLR on the nondominant limb potentially places the dominant limb at risk for future ACL injury. 65% returned to the preinjury sport level, 24% returned to the same sport at a lower level and 11% were unable to return to their preinjury sport. There are no differences between BPTB	B

				and HS. Athletes returning to preinjury sport obtained better scores with the Marx Scale and the Psychovitality Scale. There were no differences between athletes who returned to their preinjury sport and those who did not return when using the IKDC, Lysholm, Noyes and Tegner questionnaires. 65.7% returned to the preinjury sport level. There were no differences between BPTB and HS in terms of graft re-rupture (6.1% and 12.7% respectively). Soccer had the highest reinjury rate (20.8%). Athletes returning to competition within 7 months of surgery had a greater risk of reinjury than those returning after this time point (15.3% and 5.2% respectively). 51% returned to competitive sport. Athletes who did return scored higher on the ACL-RSI scale.	C
Laboute ¹⁶	2010	PC	Determining the rate of return to play and contributing factors and the risk for future ACL injury after ACLR with BPTB or HS. Mean follow-up 3.5 years. N=298		C
Langford ²²	2009	PC	Determining the influence of psychological changes on the rate of return to play after ACLR with HS. Follow-up 1 year. N=87		C
Thomee ¹⁷	2007	PC	Determining patients' self-efficacy after ACLR. Follow-up 1 year. N=33		B
Zaffagnini ¹⁸	2014	PC	Determining the rate of return to play for professional soccer players after ACLR with HS. Follow-up 4 years. N=21		B
9) Risk of reinjuries					
Swärd ¹⁹	2010	SR	Reviewing articles about the risk factors associated with a contralateral ACL injury (>2 years) after ACLR. <i>Included the following study: 25.</i>		B
Wright ²⁰	2011	SR	Reviewing articles about re-rupture of the graft or contralateral ACL injury (>5 years) after ACLR. <i>Included none of the studies below.</i>		B
Hewett ³⁵	2005	PC	Determining risk factors for ACL injury in healthy female athletes.		B

Paterno ³⁶	2010	PC	<p>Follow-up 2 seasons. N=205</p> <p>Determining risk factors for graft re-rupture or contralateral ACL injury after ACLR with BPTB or HS. Follow-up 1 year. N=56</p>	<p>valgus and high abduction loads when landing.</p> <p>There were 10 contralateral (17.8%) ACL injuries and 3 graft re-ruptures (5.3%).</p> <p>Predictors of a second ACL injury were less hip external rotator moment, an increase in knee valgus movement, greater asymmetry in internal knee extensor moment at initial contact and a deficit in single-leg postural stability of the involved limb.</p>	B
Wright ²⁹	2007	PC	<p>Determining the risk of graft re-rupture and contralateral rupture after ACLR with BPTB or STG. Follow-up 2 years. N=235</p>	<p>The risk of a contralateral ACL injury was similar (7 patients; 3.0%) to the risk of graft re-rupture (7 patients; 3.0%).</p>	B

ACL-QOL=ACL Quality Of Life, ACLR=anterior cruciate ligament reconstruction, ACL-RSI=ACL Return to Sport after Injury, BMI=Body Mass Index, BPTB=bone-patellar tendon-bone graft, CKC=closed kinetic chain, HS=hamstring graft, IKDC=International Knee Documentation Committee, K-SES=Knee Self-Efficacy Scale, KOOS=Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score, MA=meta-analysis, OKC=open kinetic chain, PC= prospective cohort study, RCT=randomized controlled trial, ROM=range of motion, SF-36=Short-Form 36, SR=systematic review, VAS=visual analogue scale.