

FACULTAD DE EDUCACIÓN Y DEPORTE
Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte
Curso: 2018-2019

**LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR:
RIESGOS Y CLAVES EN LA PREVENCIÓN**

AUTOR: Egoitz Alfonso
DIRECTOR/A: Cristina Granados

Fecha: 3 de junio de 2019

Índice:

1.Introducción.....	2
2.Marco teórico:.....	3
2.1 Epidemiología.....	3
2.2 Función y estructura:.....	4
2.3 Mecanismos lesivos.....	4
2.3.1 Mecanismo de fuerza cortante anterior o cizalla anterior:.....	6
2.3.2 Mecanismo de fuerza axial:	6
2.3.3 Mecanismo de hiperextensión:.....	6
2.3.4 Mecanismo de valgo dinámico:.....	6
2.3.5 Mecanismo de rotación interna de la tibia:	7
2.3.6 Mecanismos combinados.....	7
2.4 Tratamientos.....	7
3.Factores de riesgo.....	8
3.1 Factores extrínsecos.	9
3.2 Factores intrínsecos.....	10
3.2.1 Factores Anatómicos.	10
3.2.2 Factores Biomecánicos.	11
3.2.3 Factores Neuromusculares.	11
4.Prevenición.	16
4.1 Introducción:.....	16
4.2 Sistema sensoriomotor:.....	17
4.2.1 Propiocepción:	17
4.3 Respuesta neuromuscular:.....	18
4.4 Mecanismos de control (<i>Feddback/feedforward</i>):	18
4.5 Control neuromuscular:.....	19
4.5.1 Coordinación intramuscular:.....	19
4.5.2 Coordinación intermuscular :.....	19
4.6 Coactivación / activación recíproca:.....	20
4.7 Valgo dinámico/ estático.	22
4.8 Estabilizadores de cadera:.....	22
4.9 Desequilibrios neuromusculares entre pierna dominante y no dominante:.....	23
4.10 El “Core”:.....	23
4.11 Fatiga:	24
5- Contexto deportivo	24
6- Conclusiones.	25
7-Bibliografía:.....	26

1.Introducción.

Pese a que el intrusismo laboral lo pone difícil, cada día somos más los que optamos por cursar el grado en ciencias de la actividad física y del deporte como medio para conocer las bases de la motricidad humana y los conocimientos que la rodean, con el objetivo de algún día, poder trabajar como readaptador con personas que sufren algún tipo de lesión. Ese contexto, en el que se utiliza la actividad física como medio para ayudar a una persona, fue el que me atrajo a cursar estos estudios, si bien es cierto, aunque legislativamente no esté regulado así, sería conveniente realizar un master en readaptación para trabajar como tal.

Por lo tanto, he tenido claro que quería desarrollar mi TFG en un entorno en el que poder, aprender y acercarme a la realidad que conlleva trabajar con deportistas que sufren algún tipo de lesión. Gracias a la oportunidad que me ha dado el Deportivo Alavés, he podido vivir la experiencia que supone estar al lado en el día a día de uno de sus readaptadores. Durante esa experiencia, he tenido la oportunidad de ver y aprender cómo se utiliza la actividad física como herramienta para ayudar a jugadores con diferentes lesiones. El hecho de que en mi entorno cercano haya habido muchos casos de rotura del ligamento cruzado anterior (LCA), ha despertado mi curiosidad y he querido ahondar en las causas y en las claves para poder recuperarse de esta lesión. De hecho, he tenido la oportunidad de seguir de cerca el proceso de readaptación de dos futbolistas que la han sufrido, por lo que he podido constatar muchas de las claves y argumentos que voy a utilizar para desarrollar este trabajo. Ha sido una experiencia muy enriquecedora poder controlar de cerca esos dos casos, a la vez que iba leyendo diferentes artículos científicos, que ponían nombre a muchas de las situaciones que me tocaba vivir.

No puedo obviar, que, durante la experiencia citada, me han ido surgiendo diferentes dudas y en la medida de lo que he podido, he utilizado este trabajo para intentar resolver esas dudas y sumergirme más si cabe, en el extenso mundo de la lesión del ligamento cruzado anterior.

2.Marco teórico:

2.1 Epidemiología

La rotura del ligamento cruzado anterior es una de las lesiones de ligamentos más comunes de la rodilla, representando un 46% de las lesiones ligamentosas que se dan en esta articulación (1). Para hacernos una idea de la dimensión que adquiere esta lesión, se estima que en Estados Unidos se producen aproximadamente 200.000 roturas anuales (2). A nivel estatal el problema no es menor y así lo representan las 16821 cirugías que se hicieron en el año 2001, según la asociación española de artroscopia (3).

Si atendemos a los números totales, se dan más casos en hombres que en mujeres, ya que todavía, hay más hombres que practican deportes con riesgo de sufrir esta dolencia. Sin embargo, en términos relativos, es decir, teniendo en cuenta el número de mujeres y de hombres que practican deportes susceptibles de causar esta lesión, las mujeres tienen más riesgo de sufrir esta lesión (4).

Como es normal, se dan más casos en deportes multidireccionales como pueden ser el fútbol, el baloncesto, el rugby, el futbol americano... siendo el fútbol el deporte en el que más casos ocurren. Se cree que es por las características de este deporte, en el cual se dan muchas situaciones de cambios de dirección, hay mucho contacto entre los jugadores, se producen muchos saltos y recepciones monopodales, etc. También influye y aumenta el riesgo de padecer esta lesión, el calzado que se utiliza y la superficie en la que se practica (5).

Si nos basamos en la lógica, podríamos llegar a pensar que los deportistas amateurs tendrán más posibilidades de sufrir esta lesión. Ya que, normalmente, el control neuromuscular que tienen estos deportistas, suele ser inferior al de los deportistas de élite. Pero no es así, pese a que los deportistas de élite suelen tener un control neuromuscular mejor, la intensidad a la que desarrollan su práctica deportiva les hace más vulnerables y padecen con mayor frecuencia esta lesión (5).

Además, varios estudios apuntan a que se produce una mayor incidencia de la rotura del LCA durante partidos, es decir en el momento de competición, en relación a la incidencia recogida durante los entrenamientos o periodos fuera de la competición, ya que la intensidad a la que se participa y la fatiga que esta genera, aumenta la probabilidad de sufrir esta lesión (6,7).

2.2 Función y estructura:

Para poder comprender una lesión y las consecuencias que puede conllevar, así como, qué tipo de trabajo preventivo se puede llevar a cabo para no sufrirla o al menos disminuir su riesgo, es muy importante que conozcamos las características del tejido dañado y la función que cumple en la estructura de la que forma parte (8).

Los ligamentos cruzados de la rodilla son los encargados de regular la cinemática articular y los “órganos sensores” que informan de la musculatura periarticular influyendo sobre la posición de las superficies articulares, la dirección y la magnitud de las fuerzas y, también, de forma indirecta, sobre la distribución de las tensiones articulares (9).

El LCA es un ligamento intraarticular que se inserta, en el área pre-espinal de la cara superior de la extremidad proximal de la tibia, con origen, en la porción posterior de la superficie interna del cóndilo femoral externo. Este ligamento, está formado por numerosas fibras que absorben las sollicitaciones de tensión durante el movimiento de la rodilla. Hay que destacar, que actúa como estabilizador pasivo de la rodilla y su principal función es impedir el desplazamiento anterior de la tibia con relación al fémur (9).

2.3 Mecanismos lesivos.

Para entender cuáles son los mecanismos lesivos del LCA y entender cómo se produce la lesión, debemos entender los movimientos que se dan en la articulación de la rodilla. La articulación tibiofemoral puede realizar movimientos en los tres planos (en el plano sagital, frontal y trasversal), siendo el plano sagital (donde se da la flexo-extensión de la rodilla) el que más rango de movimiento permite a la articulación, en comparación con los otros dos planos. En el plano frontal se da la abducción/aducción de la articulación. Por último, no hay que olvidar que en el plano trasversal se da la rotación interna y externa (2).

Además de los movimientos ya citados, la articulación también permite tres tipos de desplazamiento distintos: el primero, sería el desplazamiento anterior/posterior, que se da en el plano sagital; el segundo caso, hace referencia al desplazamiento medial/lateral que se da en el plano frontal; y por último, en el plano trasversal, se puede dar el movimiento de desplazamiento en forma de compresión/distensión (2).

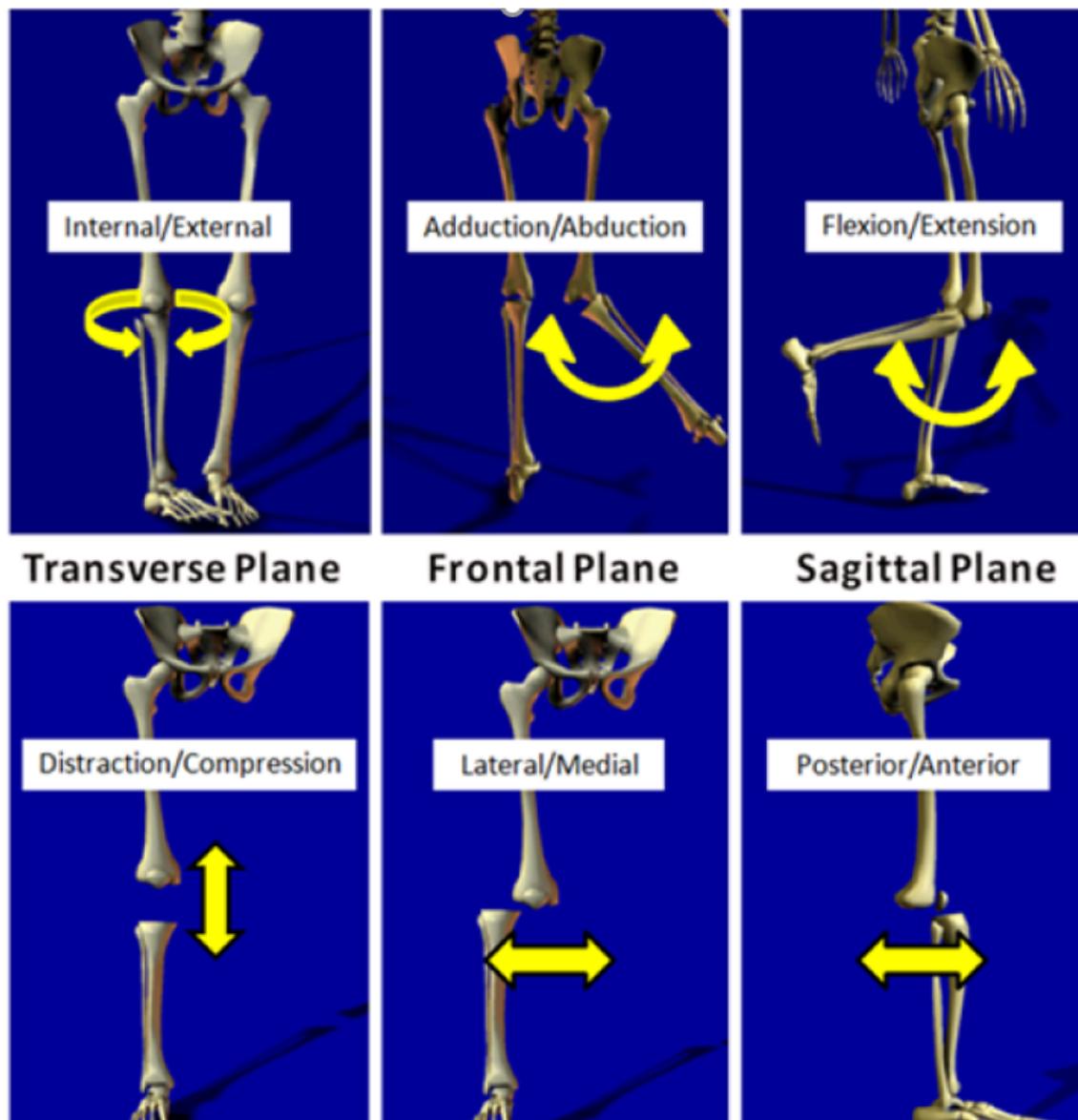


Figura 1: Movimientos de la articulación de la rodilla en los tres planos (sagital, frontal y transversal) (2).

Cuando hablamos de los mecanismos lesivos que producen la lesión, es importante distinguir entre los que se producen con contacto, bien de un adversario o un compañero, o los que se producen sin ningún tipo de contacto con otra persona; en situaciones tales como, cambios de dirección, deceleraciones bruscas, recepciones de salto, pivotaje sobre una pierna etc. Esta segunda opción, en la que la lesión se produce sin contacto con otra persona, y es la que afecta a más deportistas acaparando un 70-84% del porcentaje total de roturas del LCA (8).

Para poder hacer un buen trabajo preventivo, es necesario conocer los diferentes mecanismos lesivos que la producen y como se dan estos. Se han encontrado evidencias que respaldan 9 tipos de mecanismos lesivos diferentes, los cuáles son los siguientes:

2.3.1 Mecanismo de fuerza cortante anterior o cizalla anterior:

Cuando la tibia sufre una fuerza anterior de forma brusca y la musculatura de la rodilla no es capaz de sostener la rodilla de forma adecuada, se puede dar la rotura del ligamento cruzado anterior (10).

Para poder visualizarlo de forma más clara, es el mecanismo lesivo que actúa cuando a un futbolista que tiene la pierna anclada al suelo, le dan una patada en la parte posterior de la pierna y se produce un desplazamiento anterior de la tibia.

Según diversos estudios, en un contexto en el que el mecanismo lesivo se produce sin contacto con un adversario, el cuádriceps, sería el responsable de esta fuerza de cizallamiento anterior que se da en la tibia, que a través del tendón rotuliano, ejerce una fuerza anterior sobre la tibia. Por lo que deberemos prestar atención a esta circunstancia en la prevención de esta lesión (11,12 ,13).

2.3.2 Mecanismo de fuerza axial:

Este es el mecanismo que produce la rotura del ligamento cruzado anterior por una fuerza de compresión que se da en el eje longitudinal de la rodilla y el ligamento no es capaz de soportarlo (10).

2.3.3 Mecanismo de hiperextensión:

En este caso, la lesión ocurre cuando el deportista hace un apoyo brusco en hiperextensión y el ligamento no puede aguantar la fuerza a la que se le somete (10).

2.3.4 Mecanismo de valgo dinámico:

Es el mecanismo lesivo que más veces ocurre, aproximadamente, la mitad de los casos se producen por el valgo dinámico de rodilla; es decir, mientras el deportista está en movimiento, se produce una abducción de la tibia, el ligamento cruzado anterior y habitualmente el colateral interno, no aguantan esa presión excesiva y colapsan. Este movimiento suele darse, por la falta de activación del glúteo medio y un deficiente control neuromuscular (14).

2.3.5 Mecanismo de rotación interna de la tibia:

En este caso la rotura del ligamento ocurre por una rotación interna excesiva de la tibia y que suele darse de una forma brusca (10).

2.3.6 Mecanismos combinados.

Además de los mecanismos ya explicados, existen otros más complejos y que combinan diferentes fuerzas (10) :

- Mecanismo que combina fuerza anterior cortante y abducción de rodilla.
- Mecanismo que combina abducción de rodilla y rotación interna de la tibia.
- Mecanismo que combina la abducción de rodilla y la torsión externa en la tibia.
- Mecanismo combinado de cizalla multi-planar anterior en la tibia, abducción de rodilla y torsión axial tibial.

2.4 Tratamientos

Para las personas que padecen esta lesión, existen dos tipos de tratamiento: por un lado, se puede optar por el tratamiento quirúrgico en el que se reconstruye el ligamento dañado. La otra opción consiste en un tratamiento conservador, en el que se opta por evitar la cirugía, principalmente, fortaleciendo los músculos estabilizadores de la rodilla (15).

Para tomar esa decisión, se tienen en cuenta diferentes factores, tales como el grado de inestabilidad y la limitación funcional de la rodilla, el tipo y el nivel de actividad física que el paciente quiere practicar, las lesiones asociadas a la ruptura del ligamento, la edad del paciente y en menor medida, las circunstancias sociales, familiares y económicas del paciente (15).

Otro factor importante a la hora de tomar la decisión, es diferenciar entre los pacientes que practican ejercicio físico de forma amateur y los deportistas que lo hacen de forma profesional. Hacer esta diferenciación es importante, ya que los deportistas profesionales, además de tener a priori, una preparación física y un nivel de competencia superior, también suelen tener la posibilidad de hacer una rehabilitación más completa. Y es que, el deportista

profesional, tiene a su disposición la jornada completa para trabajar en su rehabilitación, pudiendo hacer dos sesiones al día (16).

Si bien es cierto, que en el ámbito deportivo en general (deportistas amateur y profesionales) la opción que más se lleva a cabo es la del tratamiento quirúrgico. De esta forma, se busca una estabilidad pasiva mayor y evitar la degeneración articular que puede provocar la inestabilidad en la articulación. Además, con este tratamiento, se puede tener como objetivo volver a niveles de actividad física previos a la lesión (17).

Una vez tomada la decisión de llevar a cabo la cirugía de reconstrucción, se plantean unos objetivos. Entre ellos, que el injerto que sea implantado debe de ser capaz de reproducir las condiciones biomecánicas del ligamento original (18). Además, es esencial lograr una fijación estable de este, que promueva una incorporación biológica rápida. Sin olvidarnos de que el injerto, tiene que permitir una rehabilitación acelerada; es decir, cuanto la plastia o el injerto usado, adquiera antes las cualidades del ligamento de origen, antes se podrá avanzar de forma más rápida y segura en la rehabilitación (18).

Para ello, deberemos elegir un injerto que cumpla con los requisitos citados, teniendo que elegir entre dos grandes grupos, los autoinjertos y los aloinjertos. Por lo que es necesario, saber qué ventajas y desventajas tomar una opción u otra (16). Los aloinjertos, permiten hacer una cirugía más rápida y menos traumática, ya que no se realizan con tejido autólogo; es decir, se realizan con tejido que no proviene del cuerpo del paciente. De esta manera, suele permitir una vuelta a la actividad cotidiana de forma más precoz. Aunque no hay que olvidar, su principal desventaja, la posibilidad de que el sistema inmune del paciente rechace el injerto y haya que hacer otra intervención para retirárselo (19). La otra opción es la de realizar la cirugía con tejido del paciente, lo que se denomina como autoinjerto. En este caso, la principal ventaja reside en que no existe riesgo de rechazo. Por contra, pese a que gracias a los avances de la medicina, la cirugía se realiza por artroscopia y es menos invasiva que antes, sigue exigiendo un tiempo mayor de recuperación, en comparación con la otra opción (16).

3. Factores de riesgo.

Se han realizado múltiples estudios para determinar cuáles son los factores o circunstancias que hacen que la probabilidad de sufrir una rotura del ligamento cruzado anterior aumente.

Gracias a estos estudios, los factores de riesgo se han podido dividir en dos grupos: los factores extrínsecos al deportista y los intrínsecos (4, 8, 20).

Es de suma importancia dar a conocer que las mujeres tienen un riesgo superior, concretamente entre dos y ocho veces superior que los hombres, de sufrir esta lesión en deportes en los que se reproducen situaciones propensas para ello, tales como el vóley, el fútbol, el baloncesto etc. (2,21).

3.1 Factores extrínsecos.

Dentro de los factores extrínsecos, se encuentran, el calzado que utiliza el deportista, el tipo de terreno de juego en el que se desarrolla el deporte, así como las características de este (8).

La mayoría de investigaciones se centran en analizar las características de las superficies del terreno de juego de deportes que se practican en césped, bien sea césped natural o artificial. En este grupo se encuentran el fútbol americano, el rugby y por supuesto, el deporte rey, el fútbol (22,23).

Gracias a estos análisis, se ha llegado a la conclusión, de que cuanto mayor sea la densidad del césped, y la tracción o resistencia (fricción) que este aporte al deportista a la hora de realizar un movimiento, mayor será el riesgo de sufrir la citada lesión (23). De esta forma, sabemos que un césped seco acarrea un mayor riesgo de lesión que uno húmedo, al igual que el césped artificial provoca un mayor riesgo respecto al césped natural, ya que el césped natural, tiene la capacidad de deformarse (22).

Otro de los aspectos que la literatura científica analiza, es el calzado que se utiliza y sus características. Se relaciona el coeficiente de tracción del calzado, y la resistencia que genera en la rotación, con un aumento del riesgo de sufrir la rotura del ligamento cruzado anterior (24). La mayor parte de los análisis, se centran en analizar los tacos de las botas (fútbol, rugby, fútbol americano) y los riesgos que estos conllevan. De esta forma, se ha llegado a la conclusión de que las botas que tienen tacos redondos (el taco clásico de la bota de fútbol) ofrecen una menor tracción, que el taco de forma rectangular. A su vez, el taco redondo, tiene una menor resistencia para poder realizar una rotación y realizar un cambio de dirección, por lo que utilizar un tipo de bota con ese tipo de taco, reduce el riesgo de lesión del LCA respecto a las botas que utilizan taco rectangular (23).

3.2 Factores intrínsecos.

3.2.1 Factores Anatómicos.

Dentro de los factores intrínsecos, existen diferentes subgrupos. En este caso, vamos a analizar el subgrupo que constituyen los factores anatómicos. Hay que tener en cuenta, que los factores anatómicos no son los factores a los que más importancia se les da, ya que, no son factores modificables por el entrenamiento (8). Por lo tanto, es evidente que los programas preventivos no irán dirigidos a cambiar las características anatómicas de los deportistas.

Existen ciertas características anatómicas, que elevan la probabilidad de sufrir la rotura del ligamento cruzado anterior. He aquí las características anatómicas, que según la literatura científica, aumentan la probabilidad de sufrir esta lesión:

Según las evidencias científicas, las personas que presentan una mayor pendiente de la parte distal de la meseta tibial tienen un mayor riesgo de padecer una rotura del LCA por mecanismo lesivo sin contacto (4). También hay evidencia de que un ángulo "Q" del cuádriceps, aumenta la tendencia de la rodilla al valgo estático y al valgo dinámico, por lo que aumenta la probabilidad de lesión del LCA. El ángulo "Q" se define como el ángulo formado por el eje del fémur y la línea que une el centro de la rótula con la tuberosidad tibial (8).

La mayor laxitud articular y en concreto una mayor laxitud en la articulación de la rodilla, está relacionado con un riesgo mayor de padecer la lesión. De esta forma, como las mujeres tienen una mayor laxitud articular general y mayor laxitud en la articulación de la rodilla, son más propensas a sufrir esta lesión (8, 25). Además, está laxitud articular aumenta en el periodo preovulatorio en mujeres, por lo que el riesgo en esa fase del ciclo menstrual, aumenta de forma significativa (26).

Según diversos estudios, el tamaño del ligamento anterior tiene influencia en su riesgo de rotura, presentando un mayor riesgo de rotura los ligamentos con menor tamaño respecto a los de mayor tamaño (25). Por último, no tenemos que olvidar, que cuanto mayor sea el índice de masa corporal del deportista, mayor será el riesgo de sufrir la rotura del ligamento cruzado anterior (4).

3.2.2 Factores Biomecánicos.

Dentro de los factores intrínsecos, se encuentran los factores biomecánicos del deportista, que deberemos vigilar, y concienciar al deportista para que mediante el entrenamiento logre modificar estos aspectos.

La pronación dinámica del pie, es uno de los aspectos que debemos de vigilar, ya que contribuye al valgo dinámico de rodilla que a su vez aumenta el riesgo de sufrir la lesión del ligamento cruzado anterior (8). Debemos de tenerlo en cuenta, ya que se ha demostrado, que es necesario una correcta capacidad de dorsiflexión del tobillo, y que se asocia la baja dorsiflexión de tobillo a un aumento de riesgo de lesión del LCA (26).

3.2.3 Factores Neuromusculares.

Dentro de los factores intrínsecos hay un subgrupo que es de vital importancia, los factores de riesgo neuromuscular. Gracias a diversos estudios, sabemos que son los factores más influenciados por el entrenamiento, por lo que son los factores a los que más importancia debemos darles (27). Hay que señalar, que es especialmente importante el análisis de los factores de riesgo en la fase puberal, ya que se dan cambios muy significativos a nivel anatómico y hormonal que no siempre van asociados a una mejora del control neuromuscular (28).

3.2.3.1 Alteración de la intensidad y del tiempo de activación muscular:

Según diversos estudios, la alteración de la magnitud (intensidad) y el tiempo de activación muscular durante diferentes acciones motrices supone una mayor predisposición a sufrir una lesión (27). He aquí varios ejemplos:

- Desequilibrios en la activación de los músculos mediales y laterales de cuádriceps e isquiosurales: se ha demostrado que los desequilibrios en la activación, entre la parte medial y lateral de la musculatura, presentan un factor de riesgo de lesión. Se tiene constancia de que un desequilibrio en el patrón de activación de la parte medial y lateral del cuádriceps e isquiosurales, supone un aumento de probabilidad de sufrir una rotura del LCA (29). Este riesgo es mayor en mujeres, ya que estas activan en mayor proporción la parte lateral del cuádriceps. Esa estrategia de activación, no hace más que contribuir

al valgo dinámico de rodilla y facilita la rotura del LCA, especialmente, si se asocia un predominio de activación de la parte lateral de la musculatura isquiosural (30,31).

- Mayor activación de la musculatura cuadrípital versus la isquiosural: en acciones deportivas tales como, recepciones de salto, cambios de dirección, aceleraciones/desaceleraciones... puede producirse una activación mayor del cuádriceps respecto a la musculatura isquiosural (27).
- Como varios estudios demuestran, una activación excesivamente predominante del cuádriceps supone un factor de riesgo de lesión del LCA en este tipo de acciones; ya que la citada activación predominante de cuádriceps suele ir asociada con la menor activación de los músculos isquiosurales. Esta situación, suele producirse especialmente en acciones excéntricas y tienen como consecuencia un desplazamiento anterior de la tibia (20,30,32). En esta ocasión también deberemos prestar especial atención a las mujeres. Porque durante diferentes acciones deportivas, tienen mayor tendencia que los hombres, a activar el cuádriceps de forma predominante respecto a la musculatura isquiosural, a la hora de intentar estabilizar la rodilla (30,32,33,34).

3.2.3.2. Déficits en la activación muscular de la cadera:

Como se ha demostrado ampliamente, la debilidad del glúteo medio es uno de los factores que predispone al deportista a sufrir una lesión del miembro inferior y concretamente del LCA. Ya que este, actúa como estabilizador y permite que la rodilla no se desplace de forma medial (valgo dinámico). Pero, no debemos olvidar, que el glúteo mayor es el principal extensor y además un rotador externo y abductor considerable en la cadera, por lo que será fundamental conseguir una buena activación de este en las acciones deportivas que lo demanden (34,35).

En el caso de las mujeres, tienden a disminuir la activación del glúteo mayor y aumentan la del recto femoral durante la recepción. De esa manera, generan un deslizamiento tibial anterior excesivo, lo que aumenta la probabilidad de que sufran la rotura del LCA (34, 36).

3.2.2.3 Déficits en la estabilidad y activación muscular del tronco:

Según diversos estudios, un deficiente control de la activación del tronco, puede tener una influencia negativa en la estabilidad de la rodilla. Gracias a la literatura científica, sabemos que una insuficiente preactivación de la musculatura del tronco (del "core") y de los estabilizadores de cadera, aumenta de forma notable los movimientos laterales de este, aumentando las

cargas de abducción de la rodilla. Por lo que, podemos deducir que el déficit en el control del “core” aumenta la probabilidad de sufrir la rotura del LCA (37,38).

3.2.2.4 Alteración de la capacidad de coactivación muscular:

Tenemos que tener en cuenta que la correcta coactivación de la musculatura cuadricipital e isquiosural protege la articulación de la rodilla. Por una parte, evita el excesivo desplazamiento anterior tibial, pero además, contribuye a evitar el valgo dinámico de la rodilla. Por lo tanto, una incorrecta coactivación de la musculatura cuadricipital e isquiosural no nos proporcionará la protección articular que hemos explicado y aumentará el riesgo de sufrir la rotura del LCA (39,40).

3.2.2.5 Estrategia de control dinámico de la extremidad inferior: predominancia en el plano frontal respecto al sagital:

En las recepciones de salto, las mujeres, utilizan una estrategia diferente a los hombres para el control dinámico de la articulación de la rodilla, en vez de transferir la fuerza generada por el salto al plano sagital, a través de la flexión de la rodilla, transfieren la fuerza al plano frontal. Es decir, tienden a flexionar menos la rodilla y además intentan absorber la energía del salto en el plano frontal. Por lo que la tendencia al valgo dinámico es mucho mayor que la de los hombres. De esta manera, queda en evidencia el mayor riesgo de las mujeres de sufrir lesiones del LCA por mecanismo sin contacto (30,41,42).

3.2.2.6 Desequilibrios neuromusculares entre pierna dominante y no dominante:

Gracias a diversos estudios, sabemos que la mayoría de las lesiones del LCA que sufren las mujeres por mecanismo sin contacto, se producen en la pierna no dominante. Detrás de esta causa, pueden estar los déficits neuromusculares que suelen tener las mujeres de forma frecuente en su pierna no dominante; es decir, déficits a nivel de fuerza, coordinación y control postural. Por lo que esas deficiencias respecto a la otra pierna, pueden representar un mayor riesgo de lesión (43,44).

3.2.2.7 Adecuado stiffness muscular:

El “*stiffness*” muscular es “la capacidad biomecánica del músculo de oponerse al estiramiento y contraria a la complianza” (45). Esta propiedad de la musculatura, juega un papel fundamental en la capacidad del músculo de generar fuerza explosiva. Además, hay que

resaltar, que es un componente importante para la estabilización de la articulación. Por lo que, un inadecuado *stiffness* muscular aumentará la probabilidad de que se produzca la lesión (46,47).

De nuevo, deberemos prestar especial atención al género femenino. Ya que las mujeres, por lo general, tienen un peor *stiffness* muscular que los hombres. Si a esa circunstancia, le añadimos la mayor laxitud articular de las mujeres, nos damos cuenta de que estas tienen una mayor probabilidad de sufrir lesiones por mecanismo sin contacto en la rodilla (48,49).

3.2.2.8 Déficits del control de la estabilidad postural:

Tener un control adecuado de la posición del centro de gravedad, se asocia con la menor probabilidad de sufrir una lesión de la extremidad inferior del cuerpo y por ende de la rodilla. La falta de control del centro de gravedad, se asocia a una alteración de la estrategia de control neuromuscular. Además, tenemos que tener en cuenta, que la falta de estabilidad, aumenta las fuerzas que se transmiten a las articulaciones, por lo que el riesgo de lesión en estas será mayor, si existe un déficit postural (27).

3.2.2.9 Alteración de la sensibilidad propioceptiva:

En la articulación de la rodilla hay múltiples mecanorreceptores que nos dan información de la posición y de los movimientos que se dan en la articulación. Cuando esos mecanorreceptores no actúan de forma adecuada y son poco sensibles al movimiento que se da en la articulación, existe un mayor riesgo de que suframos una lesión, ya que para cuando el sistema nervioso recibe la información de un excesivo movimiento (un estímulo que advierta del peligro), es demasiado tarde como para que ese mensaje se procese y el cuerpo mande un estímulo al músculo, para intentar controlar ese movimiento (28).

3.2.2.10 Mecanismos de anticipación y preactivación:

Relacionándolo con el punto anterior, sabemos que el cuerpo humano tiene un mecanismo de anticipación (*feedback*) y otro mecanismo de preactivación (*feedforward*). Mediante esos dos mecanismos, el cuerpo protege las articulaciones; por lo que será de vital importancia lograr que sean lo más eficientes posibles, si queremos minimizar el riesgo de lesión, y en concreto, si queremos minimizar la probabilidad de sufrir una lesión en el ligamento cruzado anterior (27,28).

3.2.2.11 Fatiga neuromuscular:

Por último, debemos resaltar la influencia que puede tener la fatiga sobre el control neuromuscular. Los puntos que hemos explicado anteriormente, pueden verse afectados directamente por la fatiga neuromuscular y aumentar el riesgo de lesión (27).

Es sabido que la fatiga puede causar alteraciones en el control motor. Si analizamos las alteraciones motrices que afectan directamente a la probabilidad de sufrir una rotura del LCA, veremos como la fatiga suele producir una menor flexión de rodilla y cadera, un aumento del valgo de rodilla, una mayor fuerza de reacción del suelo y la necesidad de un mayor tiempo de estabilización. Estas alteraciones motrices pueden aumentar el mecanismo de cizallamiento anterior tibial, y por lo tanto, aumentar la probabilidad de sufrir una lesión en el LCA (50,51).

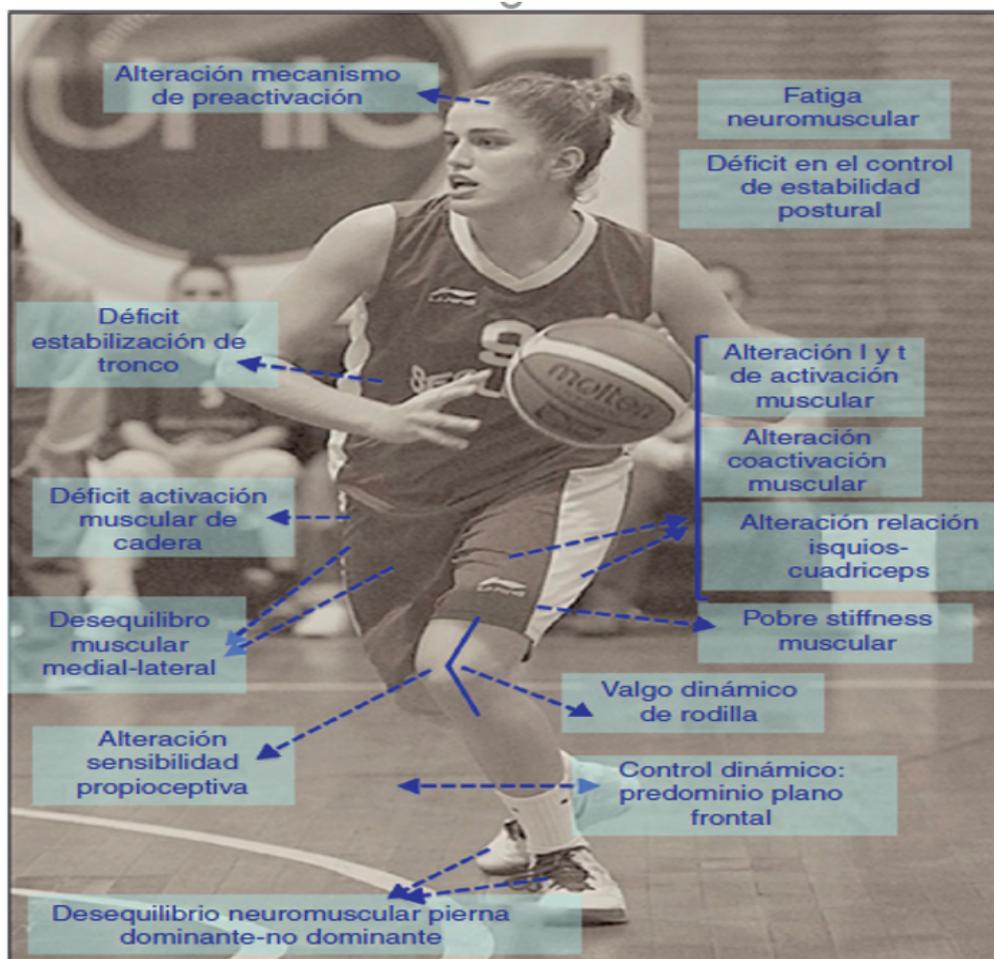


Figura 2: Riesgos neuromusculares que afectan a la probabilidad de sufrir la rotura del LCA (27).

4.Prevencción.

4.1 Introducción:

Gracias a la “popularidad” que ha adquirido la lesión del LCA en el mundo del deporte, podemos encontrar abundante literatura que respalda que un buen trabajo de prevención disminuye sustancialmente la probabilidad de dicha lesión. Esta vez, podemos ser más precisos y como apunta el metanálisis de Webster y Hewett (2018), podemos afirmar que un adecuado trabajo preventivo, reduce las lesiones sin contacto del LCA en hombres a la mitad, y en el caso de las mujeres la cifra aumenta llegando a la prevención de 2/3 de este tipo de lesión (52).

Una vez conocidos los riesgos que acentúan la probabilidad de la lesión del LCA, tendremos que intentar minimizar los riesgos que sean posibles disminuir. Es decir, en la medida de lo que podamos, intentaremos minimizar los factores extrínsecos al deportista, pero sobre todo, nos centraremos en aquellos factores intrínsecos que se pueden modificar por el entrenamiento (27).

Si analizamos los factores extrínsecos que aumentan la probabilidad de lesión, nos daremos cuenta, de que deberemos hacer un trabajo de concienciación sobre nuestros deportistas, para que usen el calzado más adecuado para la práctica deportiva, basándonos en los criterios que hemos explicado en el punto anterior. De esta forma, reduciremos la probabilidad de la lesión (22,23). No está de más, recordar que en los deportes que se desarrollan sobre césped, tendremos que tener muy presente el estado de este, porque repercute de forma directa en la probabilidad de lesión (23) .

En cuanto a los factores intrínsecos, dejaremos de lado los factores anatómicos, ya que no son factores influenciados por el entrenamiento, por lo que quedan fuera de nuestro alcance (4). De esta forma, nos vamos a centrar en minimizar los factores biomecánicos y sobretodo, profundizaremos en entender los factores neuromusculares, para saber como lograr disminuir el riesgo de lesión, a través de la optimización de estos.

4.2 Sistema sensoriomotor:

Cuando hablamos de sistema sensoriomotor, nos referimos al sistema que integra los siguientes componentes: receptores periféricos, integración y procesamiento central y respuesta motora (27). Todos estos componentes, trabajan conjuntamente para lograr la estabilidad funcional de la articulación; es decir, para lograr la estabilidad dinámica de la articulación. A su vez, sabemos que en el sistema sensoriomotor, se dan los procesos neurosensoriales y neuromusculares (53).

Para lograr la estabilidad dinámica de la articulación, se dan tres procesos diferentes: proceso neurosensorial, proceso de integración y procesamiento central, y respuesta neuromuscular (27).

En cuanto al proceso neurosensorial, sabemos que es el proceso que hace referencia a la obtención de información necesaria para controlar los movimientos del cuerpo. En este proceso, el sistema nervioso central obtiene información a través de 3 subsistemas: el sistema somatosensorial, el sistema vestibular y el sistema visual (53). En este caso nos centraremos en el sistema somatosensorial, ya que es el subsistema más modificable mediante el entrenamiento. Este subsistema, engloba toda la información lograda gracias a los mecanorreceptores (propiocepción), y los termorreceptores del cuerpo. Estos últimos, aportan información del tacto y de la temperatura (54).

4.2.1 Propiocepción:

Por lo tanto, debemos considerar la propiocepción parte de ese subsistema. Es decir, tal y como lo citan Vanmeerhaeghe y Rodríguez (2013), tendremos en cuenta la propiocepción, como el tipo de sensibilidad del sistema somatosensorial que tiene como principal objetivo participar en el mantenimiento de la estabilidad dinámica de la articulación. Esa estabilidad, se consigue mediante la detección de las variaciones de presión, tensión y longitud de los diferentes tejidos articulares y musculares (27).

Para trabajar la propiocepción, es muy recomendable optar por realizar ejercicios en superficies inestables. Ya que, gracias a estas superficies, conseguimos una mayor estimulación en los mecanorreceptores, respecto a la estimulación que logramos con otro tipo de ejercicios. El reto que supone intentar conseguir la estabilidad articular en este tipo de ejercicios nos hará mejorar la sensibilidad propioceptiva (55).

4.3 Respuesta neuromuscular:

La información captada por el sistema propioceptivo llega al sistema nervioso central y en función a la velocidad y complejidad de la respuesta motora que requiera el procesamiento de esa información, se dará a tres niveles diferentes: la información que requiera una respuesta muy rápida y de forma refleja, se dará a través de la médula espinal (27). La que requiera una respuesta más elaborada y voluntaria, se dará a través de la corteza cerebral (de forma más lenta que la anterior). Por último, quedarían las respuestas intermedias, que hacen referencia a las respuestas motores automáticas que son mediadas por el tronco del encéfalo (27).

4.4 Mecanismos de control (*Feedback/feedforward*):

Las respuestas anteriores, se regularán gracias a dos mecanismos de control motor, el *feedback* y el *feedforward*, estos dos mecanismos influyen directamente en el control dinámico de la articulación (56). El *feedback* es el mecanismo que hace referencia a la respuesta dada vía refleja por un estímulo sensorial. Cuando hablamos del *feedback*, hay que resaltar que es un mecanismo que actúa con relativa lentitud, por lo que no suele ser efectivo para evitar la consecuencia de un mecanismo lesivo (27). Por otra parte, también hay que tener muy en cuenta, que la fatiga afecta de forma directa en este mecanismo, volviendo aún más lento este mecanismo protector y a su vez, disminuyendo la protección articular que este genera (27).

Por lo tanto, en un ámbito de trabajo preventivo, no trabajaremos el *feedback* como medio para evitar las consecuencias de un mecanismo lesivo. Pero si es válido para darle al deportista información de la postura de su cuerpo y acciones motrices que se desarrollen de forma más lenta (27)

En cuanto al *feedforward* Vanmeerhaeghe y Rodriguez (2012 y 2013), lo definen de manera similar como “la capacidad de anticipación de un sujeto sin que se produzca el registro sensorial que provoca una respuesta refleja (*feedback*)” (27,28). Explicado de forma más simplista, es la preactivación muscular que hace un individuo antes de una acción motriz, que no está motivada por la información recibida a través de sus receptores periféricos, si no por sus experiencias motrices anteriores. Por lo tanto, si queremos llevar a cabo un trabajo preventivo de calidad, deberemos buscar la máxima eficiencia de este mecanismo. De esa

manera, aumentaremos la capacidad del deportista de proteger las estructuras del aparato locomotor de una carga lesiva.

¿Cómo desarrollamos este mecanismo?

La clave para lograr la eficiencia del *feedforward*, está en acumular experiencias motrices y en educar al deportista para que estas experiencias se ejecuten de forma adecuada. Es decir, a medida que un deportista adquiere más experiencia, los modelos de coactivación inapropiados van desapareciendo y son sustituidos por patrones musculares más coordinados para el desarrollo de una buena estabilidad dinámica articular y un movimiento eficaz (57).

4.5 Control neuromuscular:

El control neuromuscular, se define como la activación muscular precisa que posibilita el desarrollo coordinado y eficaz de una acción motriz (28). Para poder lograr la eficacia y la coordinación necesaria para un buen control neuromuscular, habrá que tener en cuenta dos procesos:

4.5.1 Coordinación intramuscular:

Por un lado, habrá que tener en cuenta la coordinación intramuscular de un mismo músculo. Para ello, habrá que tener en cuenta el reclutamiento espacial, es decir, el aumento de número de unidades motoras reclutadas (58). Por otro lado, también deberemos tener en cuenta el “reclutamiento temporal”, que hace referencia al aumento de la frecuencia de los impulsos que van dirigidos a las unidades motoras. Sin olvidarnos de la sincronización que debe haber entre las diferentes unidades motoras (58).

4.5.2 Coordinación intermuscular :

Por último, la coordinación intermuscular se refiere a la coordinación que debe existir entre los músculos agonistas y antagonistas para poder realizar un movimiento de forma eficaz (28).

Siendo los músculos antagonistas, los que realizan la contracción muscular durante el movimiento, y los músculos agonistas, los que se relajan (cuando se contraen los agonistas) permitiendo que se realice el movimiento (45).

4.6 Coactivación / activación recíproca:

En la literatura científica, se distinguen dos principios neuromusculares que influyen en la coordinación intermuscular: la coactivación y la activación recíproca (59).

Solomonow y Krogsgaard (2001) definieron la coactivación como “una actividad de alta intensidad de la musculatura agonista, de forma simultánea a una actividad de baja intensidad, de la musculatura antagonista de una misma articulación” (60).

Si nos tomamos al pie de la letra la definición, podemos caer en el error de pensar que la activación del músculo agonista siempre será de alta intensidad y que por el contrario, la del antagonista será de baja intensidad. Pero nada más lejos de la realidad, en función de la acción motriz que se lleve a cabo, las proporciones de las intensidades de esa activación variarán (28).

De esta manera, cuando vayamos a poner en práctica nuevas acciones deportivas, cuando la velocidad de ejecución de estas acciones aumente y cuando necesitemos mantener una posición articular constante, utilizaremos la coactivación de manera mayoritaria. (61).

La activación recíproca que he citado antes, surge como consecuencia del principio neuromuscular de inhibición recíproca. Es decir, la activación recíproca, consiste en la inhibición de un músculo para facilitar la contracción de su antagonista (54). Aunque podamos pensar que es un mecanismo complejo, en el día a día, utilizamos ese principio neuromuscular de forma frecuente, ya que es la estrategia que se utiliza de forma preferente cuando realizamos movimientos poliarticulares automatizados, como el movimiento que realizamos al andar (61).

Una vez aclarado el significado de los principios neuromusculares, entenderemos que en el proceso de aprendizaje de nuevos movimientos, en las primera ejecuciones, realizamos el movimiento con un alto nivel de coactivación muscular (28).

Aunque sabemos que la coactivación muscular aporta estabilidad articular y de esta forma protege la articulación, una excesiva coactivación, provocará una disminución de la velocidad de ejecución, un mayor gasto energético y, por lo tanto, menor rendimiento (59).

Por eso, nuestro objetivo será buscar un equilibrio entre la coactivación, para dar estabilidad y protección a la articulación, y la activación recíproca, para aumentar la eficiencia muscular de la acción motriz (28).

¿Cómo lograr ese equilibrio entre la coactivación y la inhibición recíproca? Al igual que con los mecanismos de preactivación y retroalimentación (*feedback* y *feedforward*) la clave está en que el deportista vaya adquiriendo experiencias motrices de calidad. De esa forma, se logrará conseguir la coordinación y estabilidad adecuada para realizar los movimientos de forma segura y eficaz (57).

La coactivación de la que hemos hablado, en este caso, la coactivación de la musculatura cuadricepsal e isquiosural, protege la articulación de la rodilla contra el exceso de desplazamiento anterior tibial (clave en el mecanismo lesivo de cizallamiento anterior) y además, contribuye en evitar el valgo dinámico de rodilla (27).

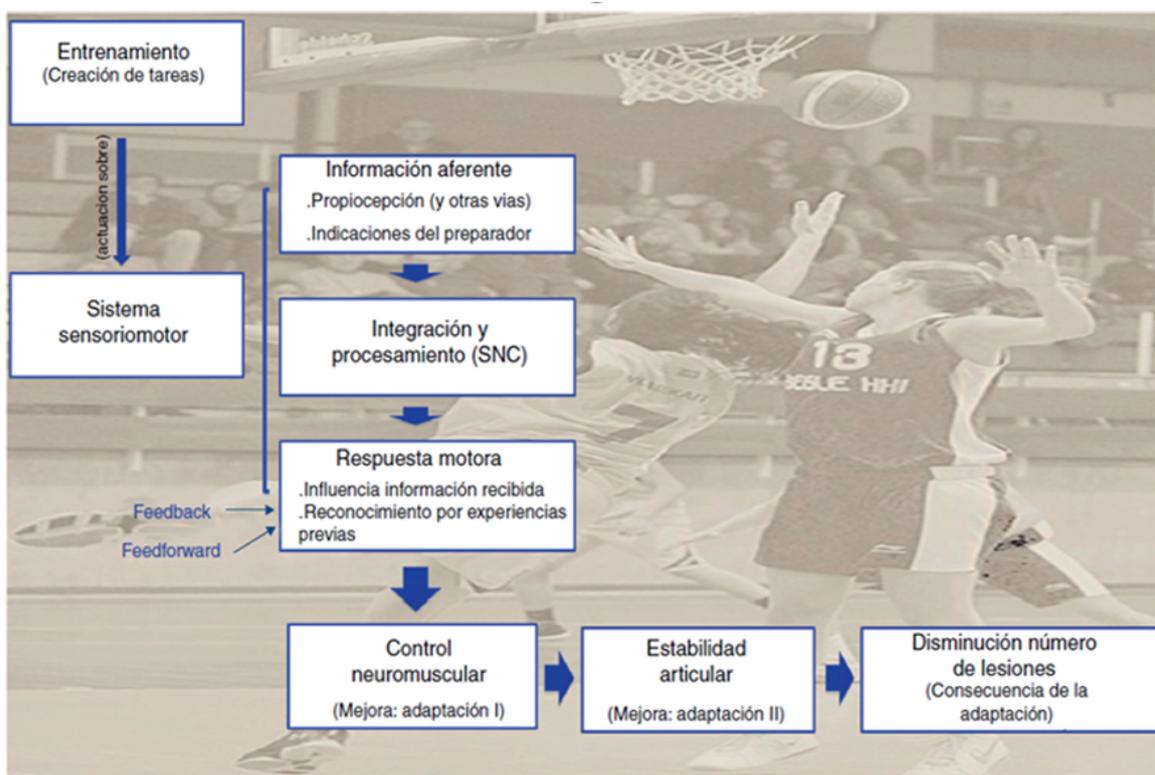


Figura 3: Relación entre los conceptos de entrenamiento, sistema sensoriomotor, estabilidad articular y control neuromuscular en la prevención de lesiones (27)

4.7 Valgo dinámico/ estático.

¿Qué es el valgo dinámico y que lo diferencia del valgo estático?

El valgo dinámico de rodilla, hace referencia al valgo funcional, es decir, es una alteración en la estrategia de control neuromuscular, que se da durante las acciones motrices. Este valgo dinámico, se asocia a una disminución de la función de los abductores de cadera y a una deficiente activación del arco plantar. Por eso, si queremos realizar un trabajo de prevención del LCA, será imprescindible trabajar tanto el glúteo medio, como la activación del arco plantar (27).

El valgo anatómico, como su propio nombre indica, hace referencia a las características físicas (anatómicas) de la persona. El valgo anatómico de rodilla, se refiere a la persona que en posición anatómica, sus rodillas tienden al valgo (hacia adentro). Es importante destacar, que el valgo anatómico, no se correlaciona con un mayor valgo dinámico y que por lo tanto, no se tiene en cuenta como un factor de riesgo (27).

No hay que olvidar, que las mujeres, tienden a llevar a cabo una estrategia de disipación de la fuerza errónea en las recepciones. Por eso, será fundamental advertirles de que su estrategia no es la adecuada, y “educar” esa estrategia, para que pasen a disipar la fuerza en el plano sagital, flexionando las rodillas y sin que se produzca el valgo dinámico de sus rodillas (30,41,42).

4.8 Estabilizadores de cadera:

Como ya hemos explicado, una de las razones del valgo dinámico de rodilla, radica en la debilidad de los músculos estabilizadores de la cadera. Por eso, para realizar un correcto trabajo preventivo, hay que dar mucha importancia a la activación y fortalecimiento del glúteo medio (61).

Para poder lograr esa correcta activación del glúteo medio, se deberán de realizar ejercicios en los que el deportista tome conciencia de la activación voluntaria de esa musculatura (62). Se ha podido constatar que hay casos en los que en un primer momento, los deportistas no son capaces de activar el glúteo medio de forma consciente. Por lo que se recurre a ejercicios tan básicos como buscar la activación de los dos glúteos medios del deportista de forma alternativa, a la vez que el deportista se palpa la musculatura, para que pueda darse cuenta

cuándo activa el músculo y cuando no. De esa forma, se busca que sea capaz de activar el glúteo medio de forma consciente.

4.9 Desequilibrios neuromusculares entre pierna dominante y no dominante:

Como he comentado en el apartado de riesgos neuromusculares, las mujeres sufren la rotura del LCA en mayor medida en la pierna no dominante, habiendo claros indicios de que el déficit a nivel de fuerza, coordinación y control postural podría ser la causa de la mayor afectación de esta lesión en la pierna no dominante (43,44).

Por lo tanto, será muy importante dirigir el trabajo preventivo de forma que se pueda reducir esa asimetría (fuerza, coordinación, control postural).

Gracias a los avances en entrenamiento funcional, sabemos que la mejor herramienta para reducir o eliminar la asimetría son los ejercicios unilaterales; es decir, aquellos ejercicios que realizamos con la participación activa de una sola de las extremidades: sentadilla búlgara, sentadilla a una pierna etc. (62).

Este tipo de ejercicios, además de ser muy válidos para reducir la asimetría entre la pierna dominante y la no dominante, generan una mayor demanda de la musculatura estabilizadora en comparación con otros ejercicios más tradicionales como el “press de pierna en máquina” (63,64). Además, ante una misma intensidad, la carga articular será menor en comparación con los ejercicios bilaterales. Sin olvidar, que este tipo de ejercicios tienen una mayor transferencia deportiva, ya que la mayoría de los deportes, exigen en mayor medida “acciones motrices unilaterales” en comparación con las “acciones motrices bilaterales” (62).

4.10 El “Core”:

Otro de los puntos clave en un programa de prevención del LCA será el trabajo del tan famoso “Core”. Como he explicado antes, el “Core” juega un papel fundamental en la estabilización del tronco. Por lo tanto, si no tenemos un control y un tono adecuado, aumentaran los movimientos laterales del tronco durante las acciones deportivas que, a su vez, provocará un aumento de la carga en la rodilla (37,38). Para mejorar la capacidad de estabilización del

tronco, realizaremos ejercicios en los que exigiremos la activación del transverso abdominal como estabilizador del mismo (62).

4.11 Fatiga:

Ya hemos explicado la afectación que puede llegar a provocar la fatiga en el control neuromuscular del deportista, por lo que será de suma importancia trabajar la resistencia a la fatiga, para que las alteraciones que hemos citado no se den, o seamos capaces de retrasarlas en el tiempo. De esta forma, reduciremos significativamente la probabilidad de sufrir lesiones y en concreto de sufrir la rotura del LCA (27).

Cuando hablamos de fatiga, no solo hay que tener en cuenta la fatiga física, hay que tener muy presente la fatiga psicológica. Por lo que será necesario reproducir situaciones que se vayan a dar en el deporte que puedan fatigar a la persona de forma física y de forma psicológica (65). Por ejemplo, a un futbolista la toma de decisiones en el terreno de juego le supone un estrés que afecta a su fatiga psicológica. Por lo que será de vital importancia trabajar situaciones en las que se le exija al deportista que tenga que tomar decisiones.

5- Contexto deportivo.

Es importante, que en el trabajo de prevención añadamos ejercicios que simulen de manera fiel, las situaciones que se den en ese deporte. En el punto anterior, he remarcado la importancia que tiene implementar trabajo preventivo con fatiga acumulada para crear ese contexto más real, que nos ayude verdaderamente a disminuir la probabilidad de lesión del deportista (27).

En este caso, quiero dar importancia a incluir ejercicios con cambios de dirección inesperados durante el trabajo de prevención. En diversos estudios se ha visto que los momentos o situaciones de valgo/varo y rotación interna/externa de la rodilla, se duplican cuando se dan cambios de dirección inesperados, respecto a cuándo planteamos cambios de dirección que han sido anteriormente pre-planeados (66,67).

Se cree que la razón de esa diferencia, viene dada por el menor tiempo para establecer las estrategias de control neuromuscular más adecuadas, que se dan durante los cambios de dirección inesperados. Por lo tanto, este tipo de ejercicios nos proporcionarán la oportunidad de mejorar la eficacia de los mecanismos explicados durante el texto (66,67).

Además, se ha podido demostrar que en ejercicios con cambios de dirección en los que se incluye a un oponente defensivo, aumentan los momentos de fuerza que se dan sobre la rodilla. Por lo que en los deportes, que por sus características incluyan a defensores durante su práctica, habrá que incluir ejercicios con oposición durante la prevención (68).

Para concluir, veo necesario subrayar que la mayoría de roturas del LCA se dan en situaciones monopodales. Por lo que será indispensable analizar las características del deporte que vayamos a llevar a cabo para el trabajo preventivo. En muchos de los casos (fútbol, balonmano, baloncesto, rugby...), estas acciones monopodales se dan de manera abundante (62). Por lo que, deberemos enseñar a los deportistas los patrones de movimiento adecuados, para que puedan llevar a cabo la óptima realización de todas esas acciones monopodales (saltos a una pierna, recepciones de salto, cambios de dirección...) (62).

6- Conclusiones.

Existe muchísima información de la lesión del LCA y concretamente, muchos textos científicos que analizan los factores intrínsecos y extrínsecos para sufrirla. Como profesionales en el ámbito de la actividad física y las ciencias del deporte, debemos centrarnos en aquellos factores que son modificables por el entrenamiento.

Por lo que, el trabajo preventivo de esta lesión, irá dirigido a educar los patrones de movimiento adecuados de los deportistas y a que estos desarrollen un control neuromuscular adecuado.

No debemos olvidar que las mujeres, tienen una probabilidad de lesión del LCA muy superior a los hombres, por lo que la necesidad de un trabajo preventivo será mucho mayor en las mujeres.

Hoy en día, está comprobado que un trabajo preventivo adecuado, reduce notablemente la probabilidad de sufrir la rotura del LCA. Pero, para poder llevar a cabo ese trabajo preventivo, es necesario contar con un profesional que tenga los conocimientos necesarios.

Ya que, como hemos podido comprobar durante el texto, es fundamental entender el papel que el sistema sensoriomotor juega en la prevención del LCA y comprender la importancia que tienen los mecanismos de anticipación y retroalimentación, así como los mecanismos de coactivación y acción recíproca en la prevención de la misma.

Aunque me gustaría que la realidad fuera otra, hoy por hoy, solo las estructuras deportivas con gran capacidad económica realizan la inversión de contratar a un profesional que sea capaz de realizar un trabajo preventivo de calidad. Por lo que, la inmensa mayoría de deportistas no realizan ese trabajo de prevención. Como todos sabemos, la lesión del LCA acarrea unos gastos cuantiosos, ya que como consecuencia de esta lesión, normalmente, suele ser necesario realizar una cirugía y una posterior rehabilitación del deportista.

Quiero pensar, que las federaciones, las cuales mediante un seguro suelen hacerse cargo de esos gastos, con el tiempo y gracias a las evidencias científicas que existen, harán una inversión en la prevención de esta lesión. Aunque implantar un sistema preventivo de este calibre a nivel amateur no será fácil, la rentabilidad económica que se puede lograr con este sistema, puede ser el motor que se necesita para realizar esa inversión en prevención, que veo tan necesaria.

7-Bibliografía:

- 1- Herrington, L., Hatcher, J., Hatcher, A. y McNicholas, M. (2009). A comparison of Star Excursion Balance Test reach distances between ACL deficient patients and asymptomatic controls. *The Knee*, 16(2), 149-152.
- 2- Quatman, C., Quatman-Yates, C. y Hewett, T. (2010). A 'Plane' Explanation of Anterior Cruciate Ligament Injury Mechanisms. *Sports Medicine*, 40 (9), 729-746.
- 3- Ramírez, C., Sánchez, M., y Gómez, M. (2001). Informe sobre el perfil de la cirugía artroscópica en España. *Cuadernos De Artroscopia*, 8(1), 10-51.
- 4- Alentorn-Geli, E., Mendiguchía, J., Samuelsson, K., Musahl, V., Karlsson, J., Cugat, R., y Myer, G. (2013). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in sports—Part I: Systematic review of risk factors in male athletes. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 22(1), 3-15.
- 5- Moses, B., Orchard, J., y Orchard, J. (2012). Systematic Review: Annual Incidence of ACL Injury and Surgery in Various Populations, *Research in Sports Medicine*, 20 (3-4), 157-179.
- 6- Dodson C., Secrist E., Bhat S., Woods D. y Deluca P. (2016). Anterior Cruciate Ligament Injuries in National Football League Athletes From 2010 to 2013. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 4(3), 1-5.
- 7- Joseph, A., Collins C., Henke N., Yard E, Fields S, y Dawn, R. (2013). A Multisport Epidemiologic Comparison of Anterior Cruciate Ligament Injuries in High School Athletics. *Journal Of Athletic Training*, 48(6), 810-817.
- 8- Alentorn-Geli, E., Myer, G., Silvers, H., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., y Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 17(7), 705-729.
- 9- Bonfim T., Grossi D., Paccola y C., Barela J. (2008). Additional sensory information reduces body sway of individuals with anterior cruciate ligament injury. *Neuroscience Letters*, 441, 257-260.
- 10- Kiapour, A. (2013). Non-Contact ACL Injuries during Landing: Risk Factors and Mechanisms (Tesis doctoral). Universidad de Toledo, Toledo.

- 11- De Morat,G., Weinhold, P., Blackburn, T., Chudik S. y Garrett, W. (2004). Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 32, 477-483.
- 12- McLean S., Andrish J., y Van den Bogert, A. (2005). Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(7), 1106-1107
- 13- Quatman, C., Hewett, T. (2009). The anterior cruciate ligament injury controversy: is “valgus collapse” a sex-specific mechanism? *British Journal of Sports Medicine*, 43, 328-335.
- 14- Kobayashi, H., Kanamura, T., Koshida, S., Miyashita, K., Okado, T., Shimizu, T., y Yokoe, K. (2010). Mechanisms of the anterior cruciate ligament injury in sports activities: a twenty-year clinical research of 1,700 athletes. *Journal of sports science & medicine*, 9(4), 669-675.
- 15- Ramos J., López-Silvarrey F., Segovia J., Martínez H. y Legido J. (2008). Rehabilitación del paciente con lesión del ligamento cruzado anterior de la rodilla (LCA). Revisión. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 8(29), 62-92.
- 16- Yañez R., Ocaranza D. y Dözl R. (2010). Elección del injerto en cirugía de reconstrucción de ligamento cruzado anterior. *Artroscopia*, 17(3), 199- 204.
- 17- Rodriguez, E. (2015). Evidence-Based ACL Reconstruction. *The archives of bone and joint surgery*, 3(1), 9-12.
- 18- Miller, S. y Gladstone, J., (2002). Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *The Orthopedic clinics of North America*, 33(4), 675-683.
- 19- Cohen, S. y Sekiya, J. (2007). Allograft Safety in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction *Clinics in Sports Medicine*, 26, 597–605.
- 20- Hewett, T., Myer, G., y Ford, K. (2006). Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Part 1, Mechanisms and Risk Factors. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(2), 299–311
- 21- Yu, B. y Garrett, W. (2007). Mechanisms of non-contact ACL injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 41(1), 47-51.

- 22- Mansfield, M. y Bucinell, R. (2017). Effects of Playing Surface and Shoe Type on ACL Tears in Soccer Players. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9 (4), 1150-1157.
- 23- Lambson, R., Barnhill, B. y Higgins, R. (1996). Football cleat design and its effect on anterior cruciate ligament injuries. A three-year prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(2), 155-159.
- 24- Hennig, E. (2011). The Influence of Soccer Shoe Design on Player Performance and Injuries. *Research in sports medicine (Print)*, 19, 186-201.
- 25- Smith, H., Vacek, P., Johnson, R., Slauterbeck, J., Hashemi, J., Shultz, S., y Beynnon, B. (2012). Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury: A Review of the Literature — Part 1: Neuromuscular and Anatomic Risk. *Sports Health*, 4(1), 69–78.
- 26- Wahlstedt, C., y Rasmussen-Barr, E. (2014). Anterior cruciate ligament injury and ankle dorsiflexión. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*.
- 27- Vanmeerhaeghe, A. y Rodriguez, D. (2013). Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas. *Apunts Medicina de l'Esport*, 48 (179), 109-120.
- 28- Vanmeerhaeghe, A. y Rodriguez, D. (2012). Rol del sistema sensoriomotor en la estabilidad articular durante las actividades deportivas. *Apunts Medicina de l'Esport*, 48, 69-76.
- 29- Myer, G., Ford K. y Hewett T. (2005). The effects of gender on quadriceps muscle activation strategies during a maneuver that mimics a high ACL injury risk position. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15(181), 9-43.
- 30- Hewett, T., Paterno, M. y Myer, G. (2002). Strategies for enhancing pro-prioception and neuromuscular control of the knee. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 402(76), 94.
- 31- Rozzi, S., Lephart, S., Gear, W., y Fu, F. (1999). Knee Joint Laxity and Neuromuscular Characteristics of Male and Female Soccer and Basketball Players. *The American Journal of Sports Medicine*, 27(3), 312–319.
- 32- Griffin, L., Albohm, M., Arendt, E., Bahr, R., Beynnon, B., DeMaio, M., y Yu, B. (2006). Understanding and Preventing Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries: A

- Review of the Hunt Valley II Meeting. *The American Journal of Sports Medicine*, 34, 1512-1532.
- 33- Hanson, A., Padua, D., Troy, B., Prentice, W. y Hirth, C. (2008). Muscle activation during side-step cutting maneuvers in male and female soccer athletes. *Journal of Athletic Training*, 43, 133-143.
- 34- Zazulak, B., Ponce, P., Straub, S., Medvecky, M., Avedisian, L., Hewett, T. (2005). Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 35, 292-299.
- 35- Lephart, S., Ferris, C., Riemann B., Myers J., Fu F. (2002). Gender differences in strength and lower extremity kinematics during landing. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 401, 162-169.
- 36- Jacobs C., Timothy, L., Mattacola, C., Shapiro, R. y Rayens, W. (2007). Hip abductor function and lower extremity landing kinematics sex differences. *Journal of Athletic Training*, 42, 76-83.
- 37- Leetun, D., Ireland, M., Willson, J., Ballantyne, B. y Davis, I. (2004). Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36, 926-934.
- 38- Borghuis, J., Hof, A. y Lemmink, K. (2008). The importance of sensory-motor control in providing core stability implications for measurement and training. *Sports Medicine*, 38, 893-916.
- 39- Hewett, T., Myer, G., Ford, K., Heidt, R., Colosimo, A. y McLean, S. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes a prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 33, 492-501.
- 40- Ford, K., Van den Bogert, J., Myer, G., Shapiro, R. y Hewett, T. (2008). The effects of age and skill level on knee musculature co-contraction during functional activities a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 561-566.
- 41- McLean, S., Walker, K. y Van den Bogert, A. (2005). Effect of gender on lower extremity kinematics during rapid direction changes an integrated analysis of three sports movements. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 8, 411-422.

- 42- Wikstrom, E., Tillman, M., Kline, K. y Borsa P. (2006). Gender and limb differences in dynamic postural stability during landing. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 16, 311-315.
- 43- Myer, G., Brent, J., Ford, K. y Hewett, T. (2011). Real-time assessment and neuromuscular training feedback techniques to prevent ACL injury in female athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33, 21- 35.
- 44- Brophy, R., Jacinda, S., Gonzales, T. y Mandelbaum. (2010). Gender influences: the role of leg dominance in ACL injury among soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 44, 694-697.
- 45- Enoka, R. (1994). *Neuromechanical Basis of Kinesiology*. Champaign,IL: Human Kinetics.
- 46- Granata, K., Wilson, S. y Padua, D. (2002). Gender differences in active musculoskeletal stiffness. Part I. Quantification in controlled measurements of knee joint dynamics *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 12, 119-126.
- 47- Wojtys, E., Huston, L., Schock, H., Boylan, J., y Ashton-Miller, J. (2003). Gender differences in muscular protection of the knee in torsion in size-matched athletes. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 85, 782-789.
- 48- Decoster, L., Bernier, J., Lindsay, R. y Vailas, J. (1999). Generalized joint hypermobility and its relationship to injury patterns among NCAA lacrosse players. *Journal of Athletic Training*, 34, 99-105.
- 49- Karageanes, S., Blackburn, K., Vangelos, Z. (2000). The association of the menstrual cycle with the laxity of the anterior cruciate ligament in adolescent female athletes *Clinical Journal of Sport Medicine*, 10, 162-168.
- 50- Chappell, J., Herman, D., Knight, B., Kirkendall, D., Garrett, W. e Yu, B. (2005). Effect of fatigue on knee kinetics and kinematics in stop-jump tasks. *The American Journal of Sports Medicine*, 33, 1022-1029.
- 51- Kernozek, T., Torry, M., Iwasaki, M. (2008). Gender differences in lower extremity landing mechanics caused by neuromuscular fatigue. *The American Journal of Sports Medicine*, 36, 554-565.
- 52- Webster, K., y Hewett, T. (2018). Meta-analysis of meta-analyses of anterior cruciate ligament injury reduction training programs. *Journal Of Orthopaedic Research®*, 36(10), 2696-2708.

- 53- Lephart, S. y Fu, F. (2000). Proprioception and neuromuscular control in joint stability. Champaign, IL: Human Kinetics.
- 54- Guyton, A. (1992). Textbook of medical physiology. 8th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- 55- Hewett, T., Paterno, M., y Myer, G. (2002). Strategies for enhancing proprioception and neuromuscular control of the knee. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 402, 76-94.
- Riemann, B. y Lephart, S. (2002). The sensorimotor system. Part I. The physiologic basis of functional joint stability *Journal of Athletic Training*, 37, 71-79.
- 56- Ford, K., Van den Bogert, J., Myer, G., Shapiro, R y Hewett, T. (2008). The effects of age and skill level on knee musculature co-contraction during functional activities: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 561-566.
- 57- Cometti, G. (2007). Los métodos modernos de musculación. 4a ed. Barcelona: Paidotribo.
- 58- Besier, T., Lloyd, D., Ackland, T., Cochrane, J. (2001). Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(7), 1176-1181.
- 59- Solomonow, M. y Krogsgaard, M. (2001). Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 11, 64-80.
- 60- Lloyd, D. (2001). Rationale for training programs to reduce anterior cruciate ligament injuries in Australian football. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 31, 645-654.
- 61- Boyle, M., Verstegen, M. y Cosgrove, A. (2009). *Advanced in functional training*. Santa Cruz, Calif.: On Target Publications.
- 62- Boudreau, S., Dwyer, M., Mattacola, C., Lattermann, C., Uhl, T. y McKeon J. (2009). Hip-muscle activation during the lunge, single-leg squat, and step-up-and-over exercises. *Journal of Sports Rehabilitation*, 18(1), 91-103.
- 63- McCurdy, K., O'Kelley, E., Kutz, M., Langford, G., Ernest, J. y Torres, M. (2010). Comparison of lower extremity EMG between the 2-leg squat and modified single-leg squat in female athletes. *Journal of Sports Rehabilitation*, 19(1), 57-70.

- 64- Benjaminse, A., Webster, E., Kimp, A., Meijer, M. y Gokeler, A. (2019). Revised Approach to the Role of Fatigue in Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention: A Systematic Review with Meta-Analyses. *Sports Medicine*.
- 65- Besier, T., Lloyd, D., Ackland, T. y Cochrane, J. (2001). Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33, 1176-1181.
- 66- Besier, T., Lloyd, D. y Ackland, T. (2003). Muscle activation strategies at the knee during running and cutting maneuvers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35, 119-127.
- 67- McLean, S., Lipfert, S., Van den Bogert, A. (2004). Effect of gender and defensive opponent on the biomechanics of sidestep cutting. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36, 1008-1016.