



Universidad
Europea CANARIAS

INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO DE CORE EN LA PREVENCIÓN DE LA LESIÓN DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR EN DEPORTES DE EQUIPO

TRABAJO FIN DE TITULACIÓN

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Ciencias de la Salud

Universidad Europea de Canarias

Curso académico: 2023-2024

MODALIDAD DE TRABAJO

Revisión Bibliográfica

AUTORES

Andrés García González

Jorge González Afonso

TUTOR/A

Jose Ángel García Merino

Junio de 2024

Villa de La Orotava, Santa Cruz de Tenerife

ÍNDICE:

1. Introducción.....	10
1.1. Anatomía y biomecánica de la rodilla.....	10
1.2. Ligamento cruzado anterior: anatomía y mecanismo lesional.....	11
1.3. Incidencia de la lesión del ligamento cruzado anterior en el deporte.....	12
1.4. Estabilidad central preventiva.....	13
1.5. Justificación.....	14
2. Objetivos.....	15
3. Metodología.....	15
3.1. Diseño del estudio y estrategia de búsqueda.....	15
3.2. Criterios de selección.....	16
4. Resultados.....	16
4.1. Selección de artículos.....	16
4.2. Efectos del entrenamiento de CORE en la prevención de lesiones del ligamento cruzado anterior.....	17
5. Discusión.....	31
5.1. Síntesis de los hallazgos.....	31
5.2. Similitudes y contradicciones.....	31
5.3. Conceptos clave.....	32
5.4. Evidencia de los estudios.....	32
5.5. Futuras líneas de investigación.....	33
6. Conclusiones.....	34
7. Referencias Bibliográficas.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA de la búsqueda bibliográfica.....	17
Figura 2. Nota. Relationship between the knee valgus angle at initial contact with the hip adduction angle at initial contact and the vastus medialis to vastus lateralis (VM:VL) activation ratio during the precontact phase in both pre- and posttraining. Positive values indicate the knee valgus and hip adduction angles, respectively. Tomado de Jeong J. et al. (2021).....	20
Figura 3. Nota. Experimental setup. Tomado de Whyte EF. et al. (2018).....	21
Figura 4. Nota. Laboratory set-up for unanticipated run-to-cut maneuver. Tomado de Jamison ST. et al. (2013).....	22
Figura 5. Nota. Main trunk and pelvis kinematic as well as medio-lateral and vertical GRFs data of one representative participant performing a LRJ trial (a) and an unanticipated cutting maneuver (b). Tomado de Weltin E. et al. (2017).....	24
Figura 6. Nota. Swiss ball reverse crunch. Tomado de Ferri-Caruana A. et al. (2020).....	25
Figura 7. Nota. Bridge with heel digging into Swiss ball. Tomado de Ferri-Caruana A. et al. (2020).....	26
Figura 8. Nota. Lateral walk with resistance band. Tomado de Ferri-Caruana A. et al. (2020).....	26
Figura 9. Nota. Directed Co-Contraction Ratio (DCCR) during the preactivation phase (A) and the weight acceptance (WA) phase (B) for karatekas (grey bars) and handball players (black bars). Positive values indicate a co-contraction ratio towards trunk flexion, trunk medial lean and trunk right rotation. Tomado de Duchene et al. (2022).....	28
Figura 10. Nota. Kinematic and kinetic variables at initial contact (IC) and during weight acceptance (WA) predicting peak knee abduction moment (PKAM). EMG variables (DCCR or RMS) predicting core kinematics significant PKAM predictors. CI: Confidence interval; DCCR: directed co-contraction ratio. Gluteus Medius and Gluteus Maximus independent variables refer to their RMS activity. Tomado de Duchene et al. (2022).....	29

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1. Nota. CORE training for 10 weeks. Tomado de Jeong J. et al. (2021).....	19
Tabla 2. Síntesis de los artículos escogidos en la revisión bibliográfica.....	30

Resumen

Objetivo: El objetivo de esta revisión bibliográfica fue evaluar la evidencia científica sobre la efectividad del entrenamiento de CORE para la prevención de lesiones del LCA en deportes de equipo.

Métodos: Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva en bases de datos científicas como SPORTDiscus, Medline y Pubmed. Se seleccionaron estudios clínicos aleatorizados (ECA) que evaluaron los efectos del entrenamiento de CORE sobre la incidencia de lesiones del LCA en atletas, incluyendo hombres y mujeres jóvenes.

Resultados: Se analizaron 8 estudios que cumplieron con los criterios de inclusión y de exclusión. Los resultados principales fueron:

- El entrenamiento de CORE puede mejorar la cinemática de la rodilla, la fuerza muscular y la activación muscular.
- El entrenamiento de CORE puede reducir la incidencia de lesiones del LCA en atletas de deportes de equipo.

Conclusión: El entrenamiento de core es una estrategia prometedora para la prevención de lesiones del LCA en atletas. Se recomienda incluir este tipo de entrenamiento en los programas de entrenamiento de atletas de deportes de equipo, junto con otras estrategias de prevención. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para establecer definitivamente la efectividad del entrenamiento de core en la prevención de lesiones del LCA.

Palabras clave: “prevención de lesiones”, “ligamento cruzado anterior”, “LCA”, “anatomía del LCA”, “equipo deportivo del LCA”, “biomecánica del LCA”.

Conceptos clave:

CORE= musculatura central y estabilizadora; músculos centrales; estabilidad central

ACL= ligamento cruzado anterior

Abstract

Objective: The aim of this literature review was to evaluate the scientific evidence on the effectiveness of CORE training for the prevention of ACL injuries in team sports.

Methods: A comprehensive literature review was performed in scientific databases such as SPORTDiscus, Medline and Pubmed. Randomized clinical studies evaluating the effects of CORE training on the incidence of ACL injuries in athletes, including young men and women, were selected.

Results: 8 studies that met the inclusion and exclusion criteria were analyzed. The main results were:

- CORE training can improve knee kinematics, muscle strength, and muscle activation.
- CORE training can reduce the incidence of ACL injuries in team sport athletes.

Conclusion: CORE training is a promising strategy for the prevention of ACL injuries in athletes. It is recommended to include this type of training in the training programs of team sport athletes, along with other prevention strategies. However, further research is needed to definitively establish the effectiveness of core training in preventing ACL injuries.

Key words: “injury prevention”, “anterior cruciate ligament”, “ACL”, “ACL anatomy”, “ACL Sports Team”, “Biomechanics of ACL”, “ACL injury mechanism”.

Key concepts:

CORE= central and stabilizing muscles; core muscles; core stability

ACL = anterior cruciate ligament

1. Introducción

1.1. Anatomía y biomecánica de la rodilla

La rodilla es una articulación compleja constituida por el extremo distal del fémur (cóndilos femorales) y el extremo proximal de la tibia (la meseta tibial). El fémur es el hueso largo de la parte superior de la pierna, que conecta los huesos de la parte inferior de la pierna (articulaciones de la rodilla) con el hueso pélvico (articulación de la cadera). Está compuesto por dos extremidades, una superior o proximal, la cual es una cabeza articular redondeada, que sobresale medialmente de un cuello corto, y la extremidad inferior, o distal, que es ampliamente abultada, hecho que provee una buena superficie de soporte para la transmisión del peso del cuerpo hacia el extremo superior de la tibia (C. Benjamin Ma. et al. 2022). La tibia está ubicada medialmente en la pierna; se articula con el fémur y esta soporta el peso del cuerpo y lo transmite del fémur al pie (Behnke et al. 2006). La rótula o patela, de forma triangular, plana y curvada, es el hueso sesamoideo más grande del cuerpo humano, el cual provee protección a la rodilla y constituye el mecanismo extensor de ésta (Cook et al. 2007).

Funcionalmente, la rodilla comprende 2 articulaciones: la patelofemoral y la tibiofemoral. La estabilidad de la articulación se rige por una combinación de ligamentos estáticos, fuerzas musculares dinámicas, aponeurosis meniscocapsular, topografía ósea y carga articular. (Flandry et al. 2011). Los ligamentos presentes en la articulación de la rodilla, que pasan entre la tibia y el fémur, son el ligamento cruzado anterior, el ligamento cruzado posterior y los ligamentos meniscales. (C. Benjamin Ma. et al. 2023). Por otro lado, hay tres ligamentos importantes que mantienen la estabilidad medial primaria de la rodilla, que son el ligamento colateral medial superficial, el ligamento oblicuo posterior y el ligamento colateral medial profundo. Es importante no excluir la asistencia que proporcionan otros ligamentos de la rodilla medial, incluido el soporte de la estabilidad rotuliana por el ligamento patelofemoral medial y las inserciones multi ligamentosas del tendón isquiotibial. (LaPrade et al. 2015).

Los ligamentos son las partes principales que estabilizan la articulación de la rodilla. La analogía de los ligamentos en el modelo biomecánico afectará a las

características de la dinámica de la rodilla humana y en el cálculo de la tensión en los ligamentos entre dos huesos. (Zhou et al. 2006).

En cuanto a la cinemática en el complejo de la rodilla, los movimientos primarios son la flexión y extensión, y, en menor amplitud, la rotación interna y la externa, ocurriendo sólo en la articulación femorotibial. Los movimientos de abducción y aducción no son considerados en la osteocinemática de la rodilla (Nokin C. et al. 2005).

Al igual que otras articulaciones, la rodilla está compuesta por diferentes estructuras articulares: dos superficies óseas (tibia y fémur) recubiertas por cartílago hialino, rodeadas por una cápsula articular a su vez reforzada por diferentes ligamentos. Estos ligamentos confieren a la rodilla una estabilidad pasiva, la cual está acompañada de una estabilidad activa que proviene de la musculatura.

1.2. Ligamento cruzado anterior: anatomía y mecanismo lesional

El ligamento cruzado anterior (LCA), es una estructura intraarticular, con una disposición postero-anterior. Se origina en el cóndilo femoral externo y se inserta a nivel antero-medial en la espina inter tibial medial. Su función principal es limitar la traslación anterior de la tibia sobre el fémur, y contribuye a la estabilización en varo o valgo excesivo y limita la hiperextensión (O'Connor et al. 2004). Además, se encarga de conseguir que el movimiento que se produce en la rodilla sea armonioso, contribuyendo a la estabilidad en todo el movimiento. Por tanto, el LCA interactúa con el resto de las estructuras de la rodilla, siendo un eslabón importante.

El LCA está compuesto por dos haces, denominados anteromedial (AM) y posterolateral (PL) según su relación con los sitios de inserción en la tibia. Cada paquete posee una función única, cualidades funcionales que contribuyen a la estabilidad de la rodilla. (Kalawadia JV. et al. 2018). Además, es el estabilizador más importante de la rodilla, aportando el 90% de la estabilidad. Adopta una disposición helicoidal característica, la cual proporciona una tensión adecuada del ligamento a través de todo su rango de movimiento.

Así pues, una lesión del ligamento cruzado anterior se produce ante un estiramiento excesivo, donde se desgarran dicha estructura. Un desgarro puede ser parcial o completo (Brotzman SB. et al. 2018).

Las lesiones del LCA ocurren con mayor frecuencia debido a un mecanismo sin contacto, es decir, al cambiar de dirección, desacelerar o aterrizar sobre una sola pierna (Lucarno S. et al. 2021), todos ellos, movimientos característicos de disciplinas deportivas de equipo como son el baloncesto, el fútbol y el balonmano (Gornitzky A.L. et al. 2016). Más concretamente el 70% de las lesiones del LCA ocurren en una situación sin contacto, como resultado de un control deficiente, lo que coloca la articulación de la rodilla del atleta en una posición "en riesgo". (Hewett et al. 2010).

La lesión del LCA no solo puede resultar en una interrupción significativa de la actividad deportiva, sino también en complicaciones a largo plazo, como la degeneración del cartílago articular y el desarrollo temprano de osteoartritis. Además, es importante destacar que las mujeres atletas corren un riesgo significativamente mayor de sufrir una lesión del LCA que sus homólogos masculinos en los mismos deportes (National Collegiate. 2000).

1.3. Incidencia de la lesión del ligamento cruzado anterior en el deporte

Las lesiones del LCA suelen estar relacionadas con el deporte, ocurren en adultos jóvenes sanos activos principalmente con edades comprendidas entre los 15 y 24 años, implican una intervención costosa con largas recuperaciones y hacen que muchos atletas pierdan la función de la rodilla y la calidad de vida (Sheehan FT. et al. 2012).

Es importante señalar que estas lesiones son más frecuentes en mujeres, y esto se debe a una serie de factores anatómicos, biomecánicos, neuromusculares, hormonales y genéticos que difieren entre los géneros. En cuanto a modalidad deportiva, diversos estudios demuestran que el fútbol es el deporte donde se producen más lesiones de este tipo a lo largo de una temporada. De manera comparativa entre sexos, las mujeres sufren entre cuatro y seis veces más este tipo de lesión practicando fútbol (Kerlan, R. K., et al. 2003).

En el estudio realizado por Mónaco et al. (2015), se analizó la incidencia lesional durante 5 temporadas en un total de 29 equipos de balonmano de 6 categorías diferentes. Se recogieron un total de 557 lesiones ante 117.723 h de exposición (114.730 h de entrenamientos y 2.993 h de partidos). Las lesiones más frecuentes fueron las de tobillo (18,1%), y las de rodilla (15,3%) y en cuanto a las estructuras más afectadas fueron las ligamentosas (27,3%) producidas por un traumatismo indirecto. Concretamente en la lesión del LCA, se observa que hay mayor incidencia en jugadoras de balonmano, desde categorías inferiores hasta categoría sénior (Olsen et al. 2003).

1.4. Estabilidad central preventiva

La estabilidad del CORE se define como el control dinámico del complejo lumbo pélvico-cadera que facilita la transferencia e impulso entre las extremidades inferiores y superiores durante las tareas motoras gruesas de los deportes, los ejercicios y la vida diaria (Behm et al. 2010).

Es conocido que los músculos centrales, abarcando los del tronco y la pelvis, se ponen en funcionamiento previo al movimiento principal de las extremidades, con el propósito de brindar estabilidad cercana a la movilidad distante (Kibler WB. et al. 2006). Por consiguiente, la estabilidad central se vuelve de gran importancia y ha ganado relevancia en el ámbito deportivo en cuanto a la prevención de lesiones (Akuthota V. et al. 2008). De tal forma, poseer dominio sobre el CORE o el eje del cuerpo, es de gran importancia en la práctica deportiva, puesto que asegura una base firme y estable para el desplazamiento de las partes corporales más distales. De hecho, un estudio de 3 años demostró que los atletas con peor estabilidad central tenían más probabilidades de sufrir un desgarro de LCA (Zazulak BT. et al. 2007).

Los déficits en el control del tronco predicen lesiones del LCA que ocurren con frecuencia durante actividades de alto riesgo (Whyte et al. 2018). Se ha demostrado que una mala estabilidad del CORE, la falta de fuerza de abducción de la cadera, el aumento del valgo de la rodilla y el aterrizaje sobre los talones pueden contribuir a un mayor riesgo de lesión del LCA en atletas jóvenes (Larwa J. et al. 2021). Al Attar et al. (2022) en un estudio, investigaron los efectos de los programas de prevención de

lesiones que incluyen ejercicios de estabilidad central en lesiones de rodilla y LCA, concluyendo que los programas de ejercicios que incluyen el entrenamiento de CORE reducen la incidencia de lesiones de rodilla en un 46% en hombres y un 65% en mujeres.

Además, un estudio prospectivo de tres años demostró que los atletas con poca estabilidad central eran menos capaces de resistir los momentos de rotación interna de la cadera que conducen a un movimiento excesivo del valgo de la rodilla durante los ejercicios con pesas. Por lo tanto, estas personas son más propensas a sufrir una ruptura del LCA (Zazulak BT. et al. 2007).

Según Jeong et al. (2021) el entrenamiento de CORE puede modificar la biomecánica asociada con las lesiones del LCA en una tarea de corte lateral; por lo tanto, el entrenamiento de la fuerza central podría considerarse en los programas de prevención de lesiones del LCA para alterar la alineación de las extremidades inferiores en el plano frontal y las activaciones musculares durante las tareas relacionadas con el deporte.

1.5. Justificación

Dado que se ha demostrado que el entrenamiento de la musculatura central y estabilizadora (CORE) es importante en la prevención de lesiones en las extremidades inferiores, las técnicas de fortalecimiento de los músculos centrales se han utilizado ampliamente en la prevención y rehabilitación de lesiones (McGill et al. 2001). Aunque los músculos centrales no cruzan la articulación de la rodilla, la estabilidad central puede modular la alineación de esta estructura y las cargas durante las tareas dinámicas (Myer GD. et al. 2008).

En los últimos años, ha habido un creciente interés en el papel del entrenamiento del CORE en la prevención de lesiones del LCA (Myer GD. et al. 2008). Aunque los antecedentes anteriormente expuestos sugieren que una buena estabilidad de CORE influye directamente en la incidencia de lesiones en las extremidades

inferiores, la relación entre el fortalecimiento de esta musculatura y el riesgo de lesión de LCA sigue sin estar clara.

2. Objetivos

El objetivo principal de la presente revisión bibliográfica fue estudiar la influencia del entrenamiento del CORE sobre la prevención de la lesión del LCA en deportes de equipo.

Como objetivos específicos se establecieron:

- Conocer los efectos del entrenamiento de CORE sobre la cinemática de rodilla.
- Informar sobre la influencia del entrenamiento de CORE sobre la activación muscular del tronco y la pelvis.
- Describir los efectos del entrenamiento de CORE sobre la fuerza muscular y la transferencia de fuerzas durante el movimiento.

3. Metodología

3.1. Diseño del estudio y estrategia de búsqueda

Para la realización de esta revisión bibliográfica, se llevó a cabo una búsqueda de artículos científicos a través del meta-buscador de la Universidad Europea de Canarias en diferentes bases de datos científicas utilizando términos específicos relacionados con el tema de estudio. Las palabras clave que se utilizaron fueron: “injury prevention”, “anterior cruciate ligament”, “ACL”, “ACL anatomy”, “ACL Sports Team”, “Biomechanics of ACL”, “ACL injury mechanism”. Las bases de datos utilizadas fueron SPORTDiscus, Medline, Pubmed, donde se incluyeron los mismos términos en todas ellas. En cuanto a la combinación de las palabras clave durante la búsqueda bibliográfica en las distintas bases de datos fueron: “(CORE) AND (Injury) AND (ACL Sports TEAM) AND (ACL)”, “(ACL) AND (female) AND (male)”, “ (INJURY

PREVENTION) AND (ACL)", "(ACL ANATOMY) AND (BIOMECHANICS OF ACL) AND (INJURY MECHANISM)".

3.2. Criterios de selección

Para la selección de estudios, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión y de exclusión:

Criterios de inclusión:

- Estudios clínicos aleatorizados (ECA) sobre la reducción de la incidencia de LCA en deportes de equipo.
- Artículos disponibles con texto completo.
- Estudios de deportistas con o sin lesiones de rodillas previas.
- Mujeres y hombres deportistas jóvenes.
- Estudios realizados en deportes de equipo
- Estudios publicados en lengua inglesa entre 2005-2024.

Criterios de exclusión

- Estudios de lesiones de otras articulaciones y estructuras diferentes de la rodilla.
- Investigaciones que se centren en poblaciones no relacionadas con deportes de equipo.
- Estudios de rehabilitación y post-operatorios de la lesión.

4. Resultados

4.1. Selección de artículos

Al buscar en las bases de datos científica con las palabras clave antes nombradas se obtuvieron 367 artículos, a los cuales se realizó un cribado mediante el

uso de filtros antes nombrados; quedando una cifra de 42 artículos. A continuación, se realizó la eliminación de los artículos duplicados, quedando la cifra reducida a 34. De los 34 estudios resultantes, se realizó una lectura del título y el resumen, primando el orden de relevancia que previamente se estableció en los filtros de búsqueda, eliminando un total de 26 artículos, debido a que sus títulos y resúmenes no plasmaban información relevante para la revisión, puesto que no tenían como objeto de estudio, las variables propuestas.

Por lo tanto, se obtuvieron 8 artículos para la recopilación de datos y exposición de resultados. En la figura 1, se ilustra el diagrama de flujo según la declaración PRISMA, en el que se detalla la selección de los artículos para la presente revisión.

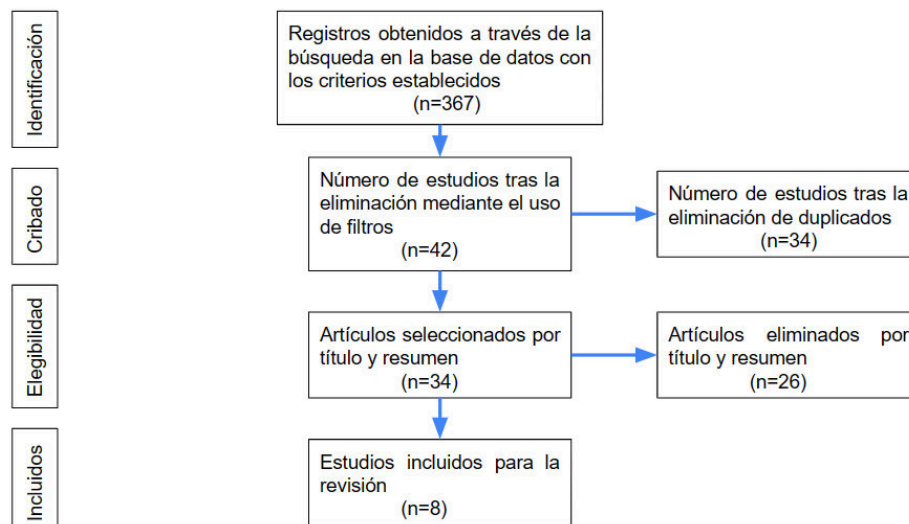


Figura 1.

Diagrama de flujo PRISMA de la búsqueda bibliográfica.

4.2. Efectos del entrenamiento de CORE en la prevención de lesiones del ligamento cruzado anterior

Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) son frecuentes durante la práctica deportiva. Más del 70% de las lesiones del LCA se producen en una situación

de no contacto, y estas lesiones del LCA sin contacto son principalmente el resultado de un mal control y una débil estabilidad, lo que coloca la articulación de la rodilla del deportista en una posición de riesgo (Hewett TE. et al, 2010). En particular, tener un buen control del CORE es importante durante las actividades deportivas, ya que proporciona una base estable para el movimiento de los segmentos distales (Myer GD. et al. 2005).

Se sabe que estos músculos centrales, que incluyen los músculos del tronco y la pelvis (Kibler WB. et al. 2006), se activan antes del movimiento principal de las extremidades para proporcionar estabilidad proximal a la movilidad distal (Hodges PW et al. 1997). Aunque estos músculos centrales no se encuentran ligados a la articulación de la rodilla, la estabilidad central puede modular la alineación de las extremidades inferiores y las cargas durante tareas dinámicas (Chu DA. et al. 2008). La literatura científica sugiere que el entrenamiento de CORE puede ayudar a reducir el riesgo de lesión del LCA en los atletas a través de la alteración de los factores de riesgo biomecánicos asociados con la lesión del LCA sin contacto.

Son diversos estudios los que se han llevado a cabo a lo largo del tiempo para determinar una estrategia de entrenamiento la cual mejore los índices de lesión en LCA mediante el trabajo de CORE. Es el caso del estudio llevado a cabo por Jeong J. et al. (2021), donde se pretendió examinar cómo el entrenamiento de estabilidad del CORE durante 10 semanas afecta a la cinemática y a la activación muscular durante el corte con pasos laterales en hombres. Este estudio utilizó un diseño aleatorizado controlado. Los participantes fueron asignados aleatoriamente al grupo de intervención (entrenamiento de la resistencia del tronco) o al grupo de control (sin entrenamiento). Se incluyó un total de 48 hombres sanos sin antecedentes de lesiones en la parte inferior de la espalda o en las extremidades inferiores y la edad promedio de los participantes fue de 25 años. El grupo de intervención recibió un programa de entrenamiento de la resistencia del tronco de 10 semanas. El entrenamiento se realizó tres veces por semana y consistió en ejercicios de estabilización del tronco, fortalecimiento y resistencia muscular. Se obtuvieron diferentes medidas como la de Resistencia del tronco, la Cinemática y la Activación muscular.

Table 1 Core Strength Training Program

Program	Weeks 1-5	Weeks 6-10
Warm-up, 1.3-km jogging	15 min	15 min
Core training 1. Leg raise 2. Crunch 3. Superman 4. Plank hip twist	<ul style="list-style-type: none"> • 1 set: - 12 repetitions - For 60 s • Total 3 sets • 60 s rest 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 set: - 20 repetitions - For 20 s • Total 5 sets • 20 s rest
5. Prone-plank 6. Side-plank (both sides) 7. Supine bridge	<ul style="list-style-type: none"> • 1 set: - Hold for 60 s • Total 3 sets • 60 s rest 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 set: - Hold for 30 s with each limb only • Total 3 sets • 60 s rest
Stretches 1. Quadriceps 2. Hamstring 3. Calf stretches 4. Latissimus dorsi 5. Hip muscles 6. Pectorals/biceps	30 s each	30 s each

Tabla 1.

Nota. CORE training for 10 weeks. Tomado de Jeong J. et al. (2021).

Los resultados que se obtuvieron en dicho estudio dieron a conocer que las puntuaciones de resistencia del tronco aumentaron significativamente después del entrenamiento en el grupo de intervención ($p < 0,05$). No se observaron cambios significativos en el grupo de control. Dentro de la cinemática, el grupo de intervención mostró una disminución del valgo de rodilla ($p = 0,038$) y de los ángulos de aducción de la cadera ($p = 0,032$) después del entrenamiento. Además, el grupo de intervención mostró un aumento del ángulo de flexión del tronco ($p = 0,018$) después del entrenamiento. No se observaron cambios significativos en el grupo de control. Respecto a la activación muscular, el grupo de intervención mostró un aumento de la coactivación recto abdominal-espinosos erectores ($p = 0,047$), la relación de coactivación isquiotibial-cuádriceps H:Q ($p = 0,021$) y la relación de activación muscular vasto medial-vasto lateral VM:VL ($p = 0,016$) después del entrenamiento. Además, se encontró una correlación negativa entre la relación VM:VL y el valgo de rodilla en el contacto inicial ($R^2 = 0,188$; $p < 0,001$) y una correlación positiva entre la relación VM:VL y la aducción de cadera ($p < 0,005$) en

el grupo de intervención. No se observaron cambios significativos en el grupo de control.

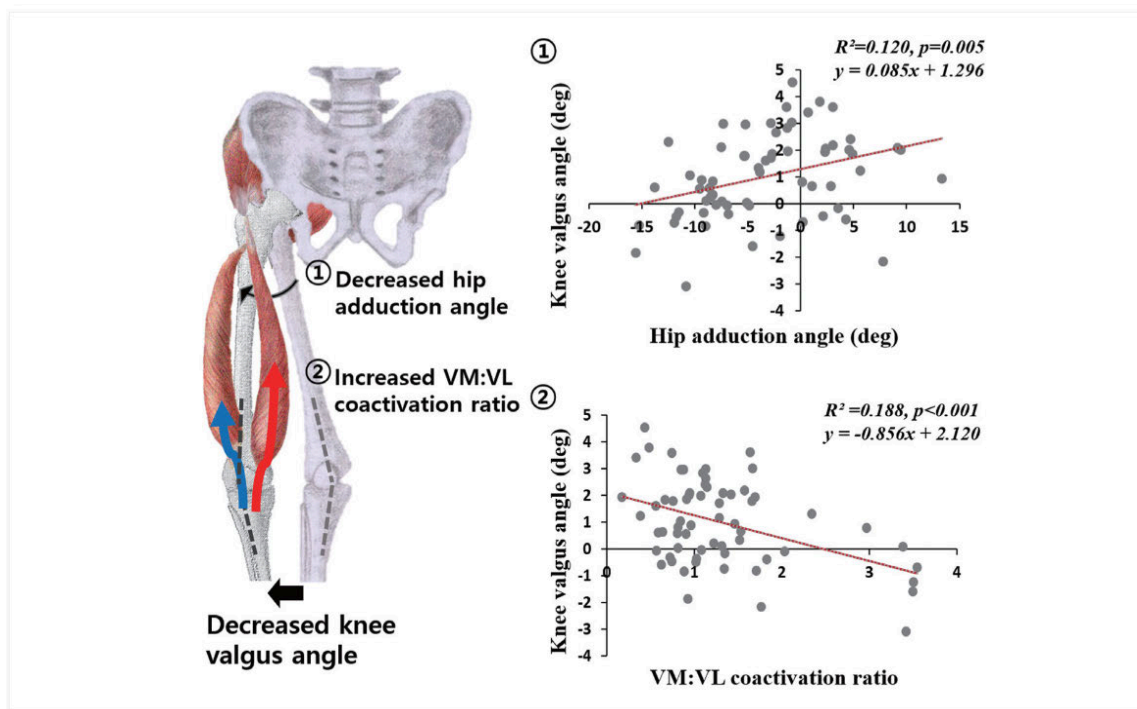


Figura 2.

Nota. Relationship between the knee valgus angle at initial contact with the hip adduction angle at initial contact and the vastus medialis to vastus lateralis (VM:VL) activation ratio during the precontact phase in both pre- and posttraining. Positive values indicate the knee valgus and hip adduction angles, respectively. Tomado de Jeong J. et al. (2021).

Por otro lado, en el estudio de Whyte EF. et al. (2018), se examinó la eficacia de un programa de estabilidad dinámica del tronco (DCS) de 6 semanas sobre la biomecánica de las maniobras de corte laterales y cruzadas anticipadas e imprevistas. En este caso, treinta y un futbolistas universitarios participaron en este ensayo controlado aleatorizado. Se capturaron biomecánicas tridimensionales de tronco y extremidades inferiores en un laboratorio de análisis de movimiento durante la fase de aceptación de peso de maniobras de corte lateral y transversal anticipadas e imprevistas al inicio y a las 6 semanas de seguimiento. El grupo

experimental realizó un programa DCS tres veces por semana durante 6 semanas en una sala de rehabilitación universitaria. Tanto el grupo de DCS como el de control completaron simultáneamente su práctica habitual y el juego de partido. Se utilizó un mapeo estadístico paramétrico y un análisis de varianza de medidas repetidas para determinar cualquier interacción entre el grupo (DCS vs control) y el tiempo (pre vs post). El grupo DCS mostró mayores niveles de activación en los extensores internos de cadera ($P=0,017$), menor valgo interno de rodilla ($P=0,026$) y menores momentos de rotación externa-interna de rodilla ($P=0,041$) durante el corte lateral anticipado en comparación con el grupo de control. Además, en el DCS hubo una reducción de las fuerzas de reacción posterior del suelo para todas las actividades de corte ($P = 0,015-0,030$). Por el contrario, el programa de DCS de 6 semanas no afectó a la cinemática del tronco, pero sí redujo un pequeño número de factores de riesgo biomecánicos para la lesión del LCA, predominantemente durante el corte lateral anticipado. Por tanto, se determinó que un programa de DCS podría desempeñar un papel en los programas multimodales de prevención de lesiones del LCA.

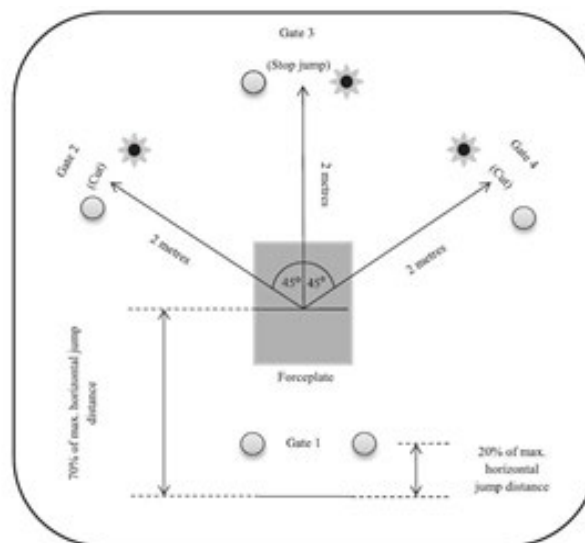


FIGURE 1 Experimental setup

Figura 3.

Nota. Experimental setup. Tomado de Whyte EF. et al. (2018).

Jamison ST. et al. (2013) llevaron a cabo un estudio donde el propósito fue evaluar la relación entre la activación previa del CORE, la posición dinámica del tronco y los momentos de abducción de rodilla durante un giro inesperado ("cut

maneuver"). El objetivo de estudio acerca de este tema se asoció a la problemática existente entre este movimiento y el alto riesgo de lesiones LCA en atletas. Para ello, se llevó a cabo un estudio aleatorizado controlado con 46 participantes sin lesiones previas. Como resultados no se encontró una relación significativa entre la preactivación de los músculos oblicuos internos, externos y extensores lumbares (músculos del core) y la inclinación lateral del tronco durante el giro. En cambio, sí se observó una asociación positiva entre la coactivación promedio del músculo extensor lumbar (L5) antes del contacto inicial con el suelo y el momento pico de abducción de la rodilla. Esto sugiere que una mayor coactivación del extensor lumbar antes del giro podría aumentar las fuerzas de cizalladura en la rodilla, aumentando potencialmente el riesgo de lesión del LCA.

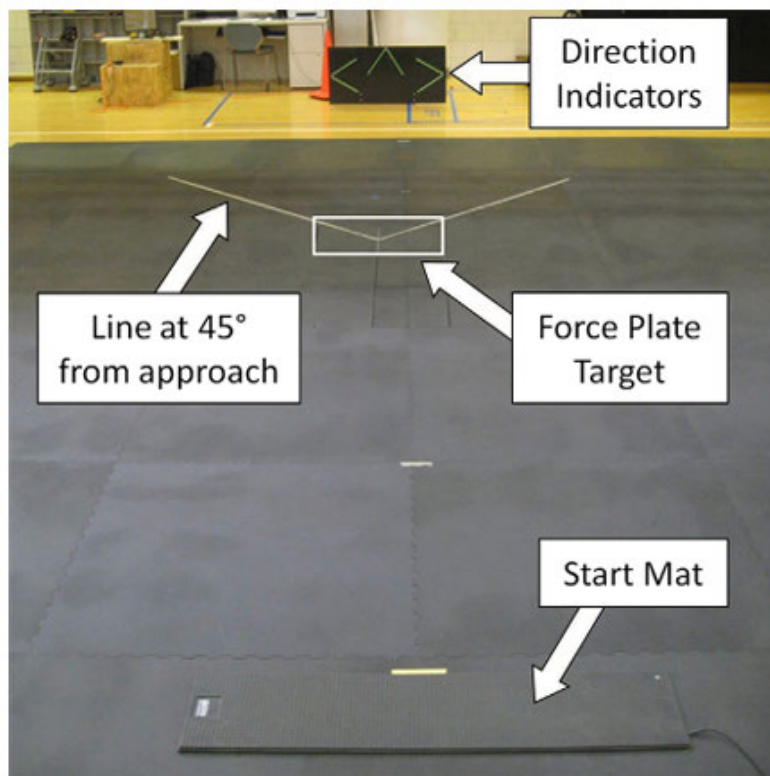


Figura 4.

Nota. Laboratory set-up for unanticipated run-to-cut maneuver. Tomado de Jamison ST. et al. (2013).

Por otro lado, encontramos el artículo publicado por Jordan Cannon et al. (2021), que trata sobre la relación entre la estabilidad del tronco (control central) y la

mecánica de la rodilla (especialmente el valgo de rodilla) durante aterrizajes a una pierna. En este caso, se estableció como objetivo determinar si un mayor entrenamiento de la estabilidad del tronco se asocia con una menor cantidad de valgo de rodilla durante los aterrizajes llevados a cabo en situaciones propias del deporte. Los participantes de este estudio fueron mujeres sin patologías previas descritas, con edades entre los 18 y 35 años, y sin presentar antecedentes de lesiones en la parte inferior del cuerpo en los últimos 6 meses. Además, se incluyeron participantes físicamente activas, es decir, debían practicar al menos 30 minutos de actividad física moderada por semana, y debían tener experiencia previa en ejercicios de entrenamiento de fuerza en CORE. Las participantes realizaron 3 aterrizajes a una pierna en cada condición: aterrizaje sobre una plataforma estable, aterrizaje sobre una tabla de equilibrio y aterrizaje sobre una plataforma estable con precarga de cadera (flexión de cadera de 45 grados). Se llevaron a cabo diversas mediciones como cinemática, cinética, electromiografía (EMG) y rigidez rotacional.

Los resultados que se obtuvieron dieron a conocer que la rigidez rotacional de la cadera influyó significativamente en la abducción de la rodilla en todas las tareas ($p < 0.05$), reduciendo el valgo de rodilla. La rigidez rotacional de la cadera en el plano transversal durante el aterrizaje redujo el momento de abducción de la rodilla ($p = 0.03-0.04$). La rigidez rotacional de la columna lumbar también mostró una tendencia a reducir el ángulo y el momento de abducción de la rodilla, pero no alcanzó significancia estadística en todos los casos.

Weltin E. et al. (2017) investigaron los efectos de dos tipos de entrenamiento sobre el control del core y la carga en la articulación de la rodilla en mujeres durante movimientos laterales. Estos movimientos son comunes en muchos deportes y pueden generar lesiones, particularmente en el ligamento cruzado anterior (LCA). Las diferencias entre los tipos de entrenamientos que se llevaron a cabo fueron que uno era con perturbación (EP) y otro con pliometría (TP). La hipótesis de los autores fue que ambos tipos de entrenamiento mejorarían el control del core y reducirían la carga en la rodilla durante movimientos laterales.

En dicho estudio, participaron 30 mujeres sanas y activas divididas en tres grupos: Grupo Entrenamiento con Perturbación (EP), Grupo Entrenamiento Pliométrico (TP) y Grupo Control (sin entrenamiento). Los resultados que se

obtuvieron mostraron que dentro del control de CORE, ambos grupos de entrenamiento (EP y TP) mostraron una mejoría en su control durante los movimientos laterales, evidenciada por una menor rotación del tronco. El grupo con entrenamiento con perturbación (EP) tuvo una mayor reducción en la rotación del tronco que el grupo con entrenamiento pliométrico (TP). Respecto a la carga en la rodilla, ambos grupos de entrenamiento (EP y TP) presentaron una disminución en los momentos de extensión y rotación interna de la rodilla durante los movimientos laterales. Además, no se observaron diferencias significativas entre los grupos de entrenamiento en cuanto a la reducción de la carga en la rodilla.

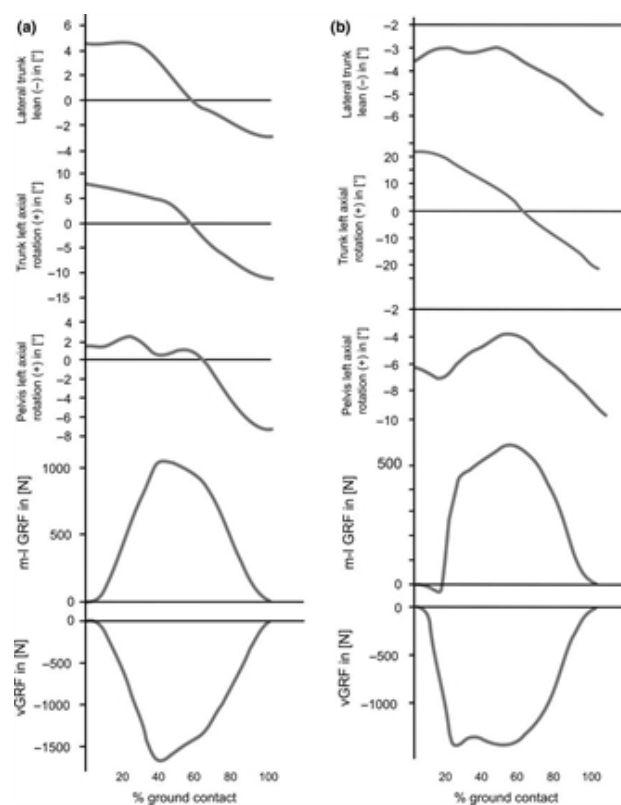


Figura 5.

Nota. Main trunk and pelvis kinematic as well as medio-lateral and vertical GRFs data of one representative participant performing a LRJ trial (a) and an unanticipated cutting maneuver (b). Tomado de Weltin E. et al. (2017)

El estudio realizado por Ferri-Caruana A. et al. (2020) plantea la hipótesis de que un programa de entrenamiento de fuerza del core y la pelvis específico y bien diseñado puede reducir los factores de riesgo biomecánicos para lesiones del LCA

en atletas. Todo ello debido a que a pesar de la popularidad del entrenamiento de core y pelvis para la prevención de lesiones del LCA, la evidencia científica sobre su efectividad es aún no está clara. Y plantea que actualmente existen estudios que han encontrado beneficios, mientras que otros no muestran resultados significativos.

En este estudio se contó con 32 jugadores de fútbol masculinos jóvenes con edades entre 18 y 25 años, sin lesiones previas en el LCA. Los participantes fueron divididos aleatoriamente en dos grupos: un grupo de entrenamiento (n = 16) y un grupo control (n = 16). El grupo de entrenamiento realizó un programa de entrenamiento de fuerza del core y la pelvis durante 8 semanas, con sesiones de 30 minutos dos veces por semana. El programa se centró en ejercicios que fortalecen los músculos abdominales, lumbares, de la cadera y glúteos. El grupo control no realizó ningún entrenamiento específico. Al final del estudio, el grupo de entrenamiento mostró una mejora significativa en la fuerza muscular del core y la pelvis, así como en la estabilidad de la rodilla durante aterrizajes y cambios de dirección. En comparación con el grupo control, el grupo de entrenamiento presentó una reducción en los factores de riesgo biomecánicos para lesiones del LCA.



Figura 6.

Nota. Swiss ball reverse crunch. Tomado de Ferri-Caruana A. et al. (2020).



Figura 7.

Nota. Bridge with heel digging into Swiss ball. Tomado de Ferri-Caruana A. et al. (2020)



Figura 8.

Nota. Lateral walk with resistance band. Tomado de Ferri-Caruana A. et al. (2020).

Fatahi et al. (2019) abordó la frecuente incidencia de las lesiones en las articulaciones de las extremidades inferiores en atletas, especialmente durante aterrizajes a una pierna, estableciendo que el CORE juega un papel fundamental en el control del cuerpo y la transmisión de fuerzas durante el aterrizaje. En este estudio se analizó el efecto del entrenamiento de estabilidad del CORE en las fuerzas articulares de las extremidades inferiores durante un aterrizaje a una pierna con salto previo. Los investigadores plantearon la hipótesis de que ocho semanas de entrenamiento de estabilidad del core reducirían las fuerzas máximas de flexión, aducción y rotación de la cadera, así como las fuerzas en la rodilla y la articulación subtalar, durante un aterrizaje a una pierna con salto previo.

El estudio se llevó a cabo con 30 jugadores de baloncesto divididos aleatoriamente en dos grupos: un grupo de entrenamiento y un grupo control. El grupo de entrenamiento realizó un programa de entrenamiento de estabilidad del core durante ocho semanas, con sesiones de dos veces por semana, mientras que el grupo control no llevó a cabo ningún entrenamiento específico. Ambos grupos realizaron un aterrizaje a una pierna con salto previo antes y después del período de entrenamiento. Se midieron las fuerzas máximas en las articulaciones de las extremidades inferiores durante el aterrizaje. El estudio encontró que el entrenamiento de estabilidad del core durante ocho semanas tuvo un efecto significativo en las fuerzas de las extremidades inferiores. El grupo de entrenamiento mostró una reducción en las fuerzas máximas de flexión, aducción y rotación de la cadera, así como en las fuerzas de la rodilla y la articulación subtalar, durante el aterrizaje a una pierna con salto previo. El grupo control no presentó cambios significativos en estas fuerzas.

En la misma línea, Duchene et al. (2022) llevaron a cabo un estudio acerca del efecto de la estabilidad del CORE sobre la carga en la rodilla durante un cambio de dirección. Los autores plantean dos hipótesis: 1. Los expertos en desplazamientos laterales tendrán mayor estabilidad del core y menor carga en la rodilla durante un cambio de dirección comparados con personas sin experiencia en este movimiento. 2. La estabilidad del core será un factor determinante de la carga en la rodilla durante el cambio de dirección.

El estudio se realizó con 27 participantes masculinos divididos en dos grupos: Grupo 1 (expertos): 13 jugadores de balonmano con experiencia en desplazamientos laterales. Grupo 2 (no expertos): 14 karatekas sin experiencia específica en este tipo de movimiento. Ambos grupos realizaron seis cambios de dirección bruscos con giro de 45 grados mientras se medían las siguientes variables: cinemática del tronco y pelvis (movimientos 3D), fuerzas de reacción en el suelo y el momento pico de abducción de la rodilla (PKAM, indicador de carga en la rodilla). El estudio no encontró diferencias significativas en el PKAM (carga en la rodilla) entre los grupos expertos y no expertos. Sin embargo, sí se observaron diferencias significativas en otras variables, ya que el grupo experto en desplazamientos laterales mostraron menor rotación de la pelvis hacia la nueva dirección de movimiento en el contacto inicial en contraste con el grupo control.

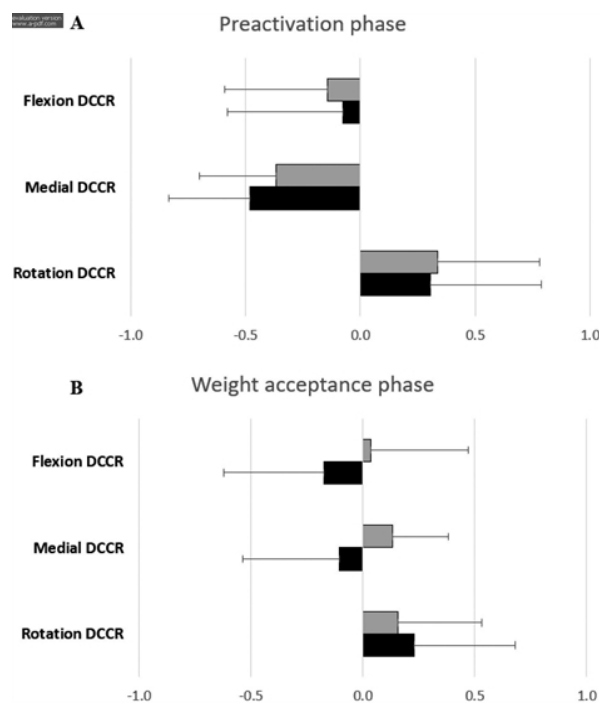


Figura 9.

Nota. Directed Co-Contraction Ratio (DCCR) during the preactivation phase (A) and the weight acceptance (WA) phase (B) for karatekas (grey bars) and handball players (black bars). Positive values indicate a co-contraction ratio towards trunk flexion, trunk medial lean and trunk right rotation. Tomado de Duchene et al. (2022).

	Predicted variable	Independent variable	Estimate	CI	One SD change (%)
IC	PKAM (model no. 1)	Trunk medial lean	-33.9	[-51.9; -15.9]	35
		Trunk axial rotation	13.1	[1.6; 24.6]	22
		Pelvis anterior tilt	20.4	[2.3; 38.5]	21
	Trunk medial lean	Medial DCCR	3.11	[1.38; 4.85]	35
		Flexion DCCR	-3.54	[-5.56; -1.51]	33
		Pelvis DCCR	2.93	[1.49; 4.38]	13
WA	PKAM (model no. 2)	Trunk axial rotation	11.8	[3.0; 20.6]	26
		Peak posterior GRF	40.9	[10.0; 71.7]	24
		Pelvis medial lean	-23.2	[-43.7; -2.7]	22
	Trunk axial rotation	Flexion DCCR	-7.00	[-9.64; -4.36]	98
		Left Gluteus Medius	0.030	[0.011; 0.049]	164
		Right Gluteus Medius	-0.026	[-0.044; -0.007]	149
Pelvis medial lean	Right Gluteus Maximus	-0.081	[-0.156; -0.006]	95	

Figura 10.

Nota. Kinematic and kinetic variables at initial contact (IC) and during weight acceptance (WA) predicting peak knee abduction moment (PKAM). EMG variables (DCCR or RMS) predicting core kinematics significant PKAM predictors. CI: Confidence interval; DCCR: directed co-contraction ratio. Gluteus Medius and Gluteus Maximus independent variables refer to their RMS activity. Tomado de Duchene et al. (2022).

En la tabla 2, se muestra una síntesis de los artículos que conforman la presente revisión.

Referencia	Diseño de estudio e Intervención	Variabes del estudio	Resultados
Jeong et al. (2021)	Entrenamiento de fuerza del core	- Neuromuscular: activación muscular, control motor - Biomecánicas: alineamiento corporal, valgo de rodilla	- Disminución de activación muscular co-contracción antagonista - Mejoras en el control motor y alineamiento corporal - Reducción del valgo de rodilla
Jamison et al. (2013)	Activación muscular del core	- Posición dinámica del tronco - Momentos de abducción de rodilla	- Mejoras en la posición del tronco - Reducción de los momentos de abducción de rodilla
Cannon et al. (2021)	Estabilidad del core	- Estabilidad rotacional lumbar y cadera - Valgo de rodilla durante aterrizajes a una pierna	- Aumento de la estabilidad rotacional lumbar y cadera se asocia con disminución del valgo de rodilla
Weltin et al. (2017)	- Entrenamiento con perturbaciones del core - Entrenamiento pliométrico	- Control del core durante movimientos laterales - Carga en la articulación de la rodilla	- Ninguna diferencia en control del core entre entrenamientos - Ambos entrenamientos reducen carga en la rodilla medial
Ferri-Caruana et al. (2020)	Entrenamiento de fuerza del core y pelvis	- Fuerza muscular core y pelvis - Factores de riesgo biomecánicos para LCA	- Aumento de la fuerza del core y pelvis - Reducción de factores de riesgo biomecánicos para LCA
Whyte et al. (2018)	Programa de estabilidad dinámica del core (DCS)	- Cinemática del tronco durante los movimientos laterales - Fuerzas de reacción vertical del suelo	- No hay cambios en la cinemática del tronco - Reducción de fuerzas verticales posteriores del suelo
Fatahi et al. (2019)	Entrenamiento de estabilidad del core (8 semanas)	- Fuerzas articulares de extremidades inferiores (máximas)	- Reducción de fuerzas máximas de flexión, aducción y rotación de cadera, rodilla y tobillo durante aterrizaje a una pierna
Duchene et al. (2022)	- Grupo control (sin experiencia en desplazamiento lateral) - Grupo expertos en desplazamiento lateral	- Cinemática tronco y pelvis (3D) - Fuerzas de reacción en el suelo - Momento pico de abducción de rodilla (PKAM)	- No hay diferencias en PKAM entre grupos - PKAM se relaciona con inclinación y rotación del tronco y pelvis - Expertos muestran menor rotación pélvica inicial

Tabla 2. Síntesis de los artículos escogidos en la revisión bibliográfica.

5. Discusión

5.1. Síntesis de los hallazgos

Los estudios revisados proporcionan evidencia consistente de que el entrenamiento de CORE puede ser una herramienta efectiva para reducir el riesgo de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) en atletas de deportes de equipo. Se observaron mejoras en la activación muscular, el control motor, la estabilidad articular y la reducción de la carga en las articulaciones, todas estas variables son factores que contribuyen a la prevención de lesiones del LCA.

5.2. Similitudes y contradicciones

La mayoría de los estudios escogidos para esta revisión coinciden en que el entrenamiento CORE tiene un efecto positivo en la activación muscular, el control motor y la estabilidad articular, especialmente en la región lumbar, cadera y pelvis. Esto se traduce en una mejor transferencia de fuerza y potencia, lo que puede ayudar a reducir la carga articular y el riesgo de lesiones. (Jamison et al., 2013; Jeong et al., 2021; Duchene et al., 2022; Fatahi et al., 2019; Ferri-Caruana et al., 2020; Cannon et al., 2021). Por otro lado, se ha observado que el entrenamiento CORE puede reducir la carga articular en la rodilla y el tobillo, lo que puede ser beneficioso para prevenir lesiones en estas articulaciones, especialmente en deportes que implican cambios bruscos de dirección y saltos (Jamison et al., 2013; Jeong et al., 2021; Ferri-Caruana et al., 2020; Cannon et al., 2021; Whyte et al., 2018). Además, se ha encontrado que el entrenamiento CORE puede mejorar el rendimiento deportivo en actividades que requieren estabilidad del tronco, como correr, saltar y cambiar de dirección (Duchene et al., 2022; Whyte et al., 2018).

Sin embargo, algunos estudios han encontrado que diferentes tipos de entrenamiento CORE pueden tener efectos diferentes sobre la activación muscular, el control motor y la carga articular. Por ejemplo, Weltin et al.(2017) no encontraron diferencias significativas en el control del CORE entre dos tipos de entrenamiento (perturbaciones y pliométrico), pero ambos redujeron la carga en la rodilla medial. Esto sugiere que la elección del tipo de entrenamiento CORE puede ser importante para obtener los resultados deseados.

La intensidad y la duración del programa de entrenamiento de CORE también pueden influir en sus efectos. Algunos estudios han encontrado que se necesitan programas de entrenamiento de alta intensidad y larga duración para obtener beneficios significativos (Jeong et al., 2021; Ferri-Caruana et al., 2020), mientras que otros han encontrado que programas de menor intensidad y duración también pueden ser efectivos (Fatahi et al., 2019). Además, se ha observado que la selección de ejercicios de CORE también puede ser importante para obtener los resultados deseados. Algunos ejercicios son más efectivos que otros para activar diferentes grupos musculares y mejorar el control motor (Cannon et al., 2021). Por otro lado, también hay que tener en cuenta las características de los participantes, como la edad, el sexo, el nivel de condición física y el historial de lesiones, que también pueden influir de manera directa en los efectos del entrenamiento de CORE (Duchene et al., 2022; Whyte et al., 2018).

5.3. Conceptos clave

- **Especificidad del entrenamiento:** El programa de entrenamiento de CORE debe ser específico para las demandas del deporte en cuestión, considerando los movimientos, gestos técnicos y cargas habituales de cada disciplina (Duchene et al., 2022).
- **Activación muscular co-contráida:** El entrenamiento debe enfocarse en la activación co-contráida de los músculos agonistas y antagonistas del CORE, promoviendo un equilibrio y control neuromuscular óptimo (Jeong et al., 2021).
- **Estabilidad rotacional de la columna lumbar:** La estabilidad rotacional de la columna lumbar es fundamental para el control del tronco durante movimientos dinámicos, como aterrizajes y cambios de dirección (Cannon et al., 2021).

5.4. Evidencia de los estudios

Activación muscular y control motor: Jeong et al. (2021) observaron una disminución en la activación muscular co-contracción antagonista y mejoras en el control motor y alineamiento corporal tras un programa de entrenamiento core de 8 semanas. De igual forma, Jamison et al. (2013) encontraron mejoras en la posición

del tronco y una reducción en los momentos de abducción de la rodilla tras un programa de entrenamiento de activación muscular del core. Whyte et al. (2018) también observaron una mayor estabilidad del tronco y coordinación neuromuscular tras un programa de entrenamiento dinámico de CORE.

Estabilidad articular y carga articular: Cannon et al. (2021) asociaron un aumento en la estabilidad rotacional lumbar y cadera con una disminución del valgo de rodilla durante aterrizajes a una pierna. Sin embargo, Weltin et al. (2017) no encontraron diferencias en el control del core entre dos tipos de entrenamiento core (perturbaciones y pliométrico), pero ambos entrenamientos redujeron la carga en la rodilla medial. Por otro lado, Ferri-Caruana et al. (2020) observaron un aumento en la fuerza muscular del core y la pelvis, así como una reducción en los factores de riesgo biomecánicos para LCA tras un programa de entrenamiento de fuerza del core y pelvis. Fatahi et al. (2019) observaron una reducción en las fuerzas máximas de flexión, aducción y rotación de cadera, rodilla y tobillo durante aterrizaje a una pierna tras un programa de entrenamiento de estabilidad del core de 8 semanas.

Experiencia en movimientos laterales: Duchene et al. (2022) no encontraron diferencias en la carga articular de la rodilla entre expertos en movimientos laterales y un grupo control, pero sí observaron una relación entre la carga articular y la inclinación y rotación del tronco y la pelvis.

5.5. Futuras líneas de investigación

Se necesitan ensayos controlados aleatorizados a gran escala para confirmar la efectividad del entrenamiento core en la prevención de lesiones del LCA a largo plazo. También se requieren investigaciones que exploren la optimización de los programas de entrenamiento de CORE, evaluando la duración ideal del programa, la intensidad de los ejercicios, la progresión de la carga y la especificidad para diferentes deportes. Es necesario profundizar en los mecanismos de acción por los cuales el entrenamiento de CORE reduce el riesgo de lesiones del LCA, considerando aspectos como la propiocepción, la coordinación neuromuscular y la respuesta muscular ante estímulos externos. Por último, se deben desarrollar programas de entrenamiento de CORE adaptados a poblaciones específicas con

mayor riesgo de lesiones del LCA, como atletas jóvenes o aquellos con antecedentes de lesiones.

6. Conclusiones

Las lesiones del LCA son una problemática común en atletas, especialmente en deportes de equipo como fútbol, baloncesto y balonmano. Estas lesiones pueden tener un impacto significativo en la carrera deportiva de un atleta, además de generar un alto costo económico debido a los largos periodos de recuperación. El entrenamiento de CORE, enfocado en fortalecer los músculos abdominales, lumbares, de la cadera y glúteos, se ha postulado como una herramienta eficaz para reducir el riesgo de lesiones del LCA en atletas de deportes de equipo.

De acuerdo con los 8 estudios que componen esta revisión, donde se evaluaron los efectos del entrenamiento de CORE sobre la incidencia de lesiones del LCA en atletas jóvenes y que cumplieran con los criterios de inclusión, las conclusiones principales son:

- **Efectos sobre la cinemática de la rodilla:** El entrenamiento de CORE puede mejorar la alineación de la rodilla durante movimientos dinámicos, como aterrizajes a una pierna y cambios de dirección. Esto podría reducir el valgo de rodilla, un factor de riesgo asociado a lesiones del LCA.
- **Efectos sobre la fuerza muscular:** El entrenamiento de CORE aumenta la fuerza de los músculos abdominales, lumbares, de la cadera y glúteos. Esta mejora en la fuerza muscular podría mejorar la estabilidad del tronco y la transferencia de fuerzas durante el movimiento, reduciendo así la carga articular en la rodilla.
- **Efectos sobre la activación muscular:** El entrenamiento de CORE puede mejorar la sincronización y coactivación de los músculos del tronco y la pelvis. Esto podría mejorar el control del movimiento y reducir el riesgo de lesiones por movimientos bruscos o inesperados.

La evidencia científica sugiere que el entrenamiento de CORE es una estrategia prometedora para la prevención de lesiones del LCA en atletas. Se

recomienda incluir este tipo de entrenamiento en los programas de entrenamiento de atletas de deportes de equipo, junto con otras estrategias de prevención.

7. Referencias Bibliográficas

1. Agel, J., Rockwood, T., & Klossner, D. (2016). Collegiate ACL injury rates across 15 sports: National Collegiate Athletic Association injury surveillance system data update. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 26, 518–523.

2. Al Attar, W. S. A., et al. (2022). The effectiveness of injury prevention programs that include core stability exercises in reducing the incidence of knee injury among soccer players: A systematic review and meta-analysis. *Isokinetics and Exercise Science (Preprint)*, 1–11.

3. Akuthota, V., Ferreiro, A., Moore, T., & Fredericson, M. (2008). Core stability exercise principles. *Current Sports Medicine Reports*, 7(1), 39-44.

4. Behnke, R. (2006). *Kinetic anatomy* (2^a ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

5. Behm, D. G., et al. (2010). The use of instability to train the core musculature. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35(1), 91–108.

6. Brotzman, S. B. (2018). Anterior cruciate ligament injuries. En C. E. Giangarra & R. C. Manske (Eds.), *Clinical orthopaedic rehabilitation: A team approach* (4th ed., cap. 47). Philadelphia, PA: Elsevier.

7. Cannon J, Cambridge EDJ, McGill SM. Increased core stability is associated with reduced knee valgus during single-leg landing tasks: Investigating lumbar spine and hip joint rotational stiffness. *J Biomech*. 2021 Feb 12;116:110240. doi: 10.1016/j.jbiomech.2021.110240. Epub 2021 Jan 13. PMID: 33494012.

8. Chu, D. A., Myer, G. D., Brent, J. L., & Hewett, T. E. (2008). Trunk and hip control neuromuscular training for the prevention of knee joint injury. **Clinics in Sports Medicine**, 27(3), 425-448.

9. Duchene, Y., Gauchard, G. C., & Mornieux, G. (2022). Influence of sidestepping expertise and core stability on knee joint loading during change of direction. **Journal of Sports Sciences**, 40(9), 959-967.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2042980>

10. Duchene, Y., Gauchard, G. C., & Mornieux, G. (2022). Directed Co-Contraction Ratio (DCCR) during the preactivation phase (A) and the weight acceptance (WA) phase (B) for karatekas (grey bars) and handball players (black bars). Positive values indicate a co-contraction ratio towards trunk flexion, trunk medial lean and trunk right rotation. Imagen 1

11. Duchene, Y., Gauchard, G. C., & Mornieux, G. (2022). Kinematic and kinetic variables at initial contact (IC) and during weight acceptance (WA) predicting peak knee abduction moment (PKAM). EMG variables (DCCR or RMS) predicting core kinematics significant PKAM predictors. CI: Confidence interval; DCCR: directed co-contraction ratio. Gluteus Medius and Gluteus Maximus independent variables refer to their RMS activity. Imagen 2.

12. Fatahi, F., Ghasemi, G. A., Karimi, M., & Beyranvand, R. (2019). The effect of eight weeks of core stability training on the lower extremity joints moment during single-leg drop landing. **Baltic Journal of Health and Physical Activity**, 11(1), 34-44.
<https://doi.org/10.29359/BJHPA.11.1.04>

13. Ferri-Caruana, A., Prades-Insa, B., & Serra-Añó, P. (2020). Effects of pelvic and core strength training on biomechanical risk factors for anterior cruciate ligament injuries. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 60(8), 1128–1136.
<https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.10552-8>

14. Ferri-Caruana, A., Prades-Insa, B., & Serra-Añó, P. (2020). Swiss ball reverse crunch. Imagen 1.
15. Ferri-Caruana, A., Prades-Insa, B., & Serra-Añó, P. (2020). Bridge with heel digging into Swiss ball. Imagen 2.
16. Ferri-Caruana, A., Prades-Insa, B., & Serra-Añó, P. (2020). Lateral walk with resistance band. Imagen 3.
17. Flandry, F., & Hommel, G. (2011). Normal anatomy and biomechanics of the knee. **Sports Medicine and Arthroscopy Review**, 19(2), 82–92.
18. Gornitzky, A. L., Lott, A., Yellin, J. L., Fabricant, P. D., Lawrence, J. T., & Ganley, T. J. (2016). Sport-specific yearly risk and incidence of anterior cruciate ligament tears in high school athletes. **The American Journal of Sports Medicine**, 44, 2716–2723. <https://doi.org/10.1177/0363546515617742>
19. Hewett, T. E., Ford, K. R., Hoogenboom, B. J., & Myer, G. D. (2010). Understanding and preventing ACL injuries: Current biomechanical and epidemiologic considerations—update 2010. **North American Journal of Sports Physical Therapy**, 5(4), 234-251.
20. Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., et al. (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(4), 492-501.
21. Hodges, P. W., & Richardson, C. A. (1997). Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. **Physical Therapy**, 77(2), 132-144.
22. Jamison, S. T., McNally, M. P., Schmitt, L. C., & Chaudhari, A. M. (2013). The effects of core muscle activation on dynamic trunk position and knee abduction

moments: Implications for ACL injury. *Journal of Biomechanics*, 46(13), 2236-2241.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.06.021>

23. Jamison, S. T., McNally, M. P., Schmitt, L. C., & Chaudhari, A. M. (2013). Laboratory set-up for unanticipated run-to-cut maneuver. Imagen 1

24. Jeong, J., Choi, D. H., & Shin, C. S. (2021). Core strength training can alter neuromuscular and biomechanical risk factors for anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 49(1), 183-192.

25. Jeong J. et al. (2021). CORE training for 10 weeks. Imagen 1.

26. Jeong J. et al. (2021). Relationship between the knee valgus angle at initial contact with the hip adduction angle at initial contact and the vastus medialis to vastus lateralis (VM:VL) activation ratio during the precontact phase in both pre- and posttraining. Positive values indicate the knee valgus and hip adduction angles, respectively. Imagen 2.

27. Kalawadia, J. V., Guenther, D., Irarrazaval, S., & Fu, F. H. (2018). Anatomy and biomechanics of the anterior cruciate ligament. En C. C. Prodomos (Ed.), *The anterior cruciate ligament: Reconstruction and basic science* (2nd ed., cap. 1). Philadelphia, PA: Elsevier.

28. Kerlan, R. K., et al. (2003). Anterior cruciate ligament injury in female athletes: An update. The American Journal of Sports Medicine, 31(4), 364-372.

29. Kibler, W. B., Press, J., & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine*, 36(3), 189-198.

30. LaPrade, M. D., Kennedy, M. I., Wijdicks, C. A., & LaPrade, R. F. (2015). Anatomy and biomechanics of the medial side of the knee and their surgical implications. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 23(2), 63-70.

31. Larwa, J., et al. (2021). Stiff landings, core stability, and dynamic knee valgus: A systematic review on documented anterior cruciate ligament ruptures in male and female athletes. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 18(7), 3826.

32. Lucarno, S., Zago, M., Buckthorpe, M., et al. (2021). Systematic video analysis of anterior cruciate ligament injuries in professional female soccer players. **The American Journal of Sports Medicine**, 49(7), 1794-1802.

33. Ma, C. B. (2023). Professor, Chief, Sports Medicine and Shoulder Service, UCSF Department of Orthopaedic Surgery, San Francisco, CA.

34. McGill, S. M. (2001). Low back stability: From formal description to issues for performance and rehabilitation. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, 29(1), 26-31.

35. Mónaco, M., Gutiérrez, J. A., Montoro, J. B., Til, L., Drobic, F., Nardi, J., & Puigdemívol, J. (2015). Epidemiología lesional del balonmano de elite: Estudio retrospectivo en equipos profesional y formativo de un mismo club. **Apunts Medicina de l'Esport**, 49(181), 11-19.

36. Myer, G. D., Chu, D. A., Brent, J. L., & Hewett, T. E. (2008). Trunk and hip control neuromuscular training for the prevention of knee joint injury. **Clinics in Sports Medicine**, 27(3), 425-448.

37. Myer, G. D., Ford, K. R., Paterno, M. V., Nick, T. G., & Hewett, T. E. (2008). The effects of generalized joint laxity on risk of anterior cruciate ligament injury in young female athletes. **The American Journal of Sports Medicine**, 36(6), 1073-1080. <https://doi.org/10.1177/0363546508314401>

38. Nokin, C., & Levangie, P. (2005). **Joint structure & function** (4^a ed.). Philadelphia: F.A. Davis.

39. O'Connor, F. G., Sallis, R. E., Wilder, R. P., & Patrick, S. P. (2004). *Sports medicine (just the facts)*. McGraw Hill.
40. Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I., & Bahr, R. (2003). Relationship between floor type and risk of ACL injury in team handball. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13, 299-304.
41. Sheehan, F. T., Sipprell, W. H., & Boden, B. P. (2012). Dynamic sagittal plane trunk control during anterior cruciate ligament
42. Weltin, E., Gollhofer, A., & Mornieux, G. (2017). Effects of perturbation or plyometric training on core control and knee joint loading in women during lateral movements. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(3), 299-308. <https://doi.org/10.1111/sms.12657>
43. Weltin, E., Gollhofer, A., & Mornieux, G. (2017). Main trunk and pelvis kinematic as well as medio-lateral and vertical GRFs data of one representative participant performing a LRJ trial (a) and an unanticipated cutting maneuver (b). Imagen 1.
44. Whyte, E. F., Richter, C., O'Connor, S., & Moran, K. A. (2018). Effects of a dynamic core stability program on the biomechanics of cutting maneuvers: A randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(2), 452-462. <https://doi.org/10.1111/sms.12931>
45. Whyte, E. F., Richter, C., O'Connor, S., & Moran, K. A. (2018). Experimente setup. Imagen 1.
46. Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B., & Cholewicki, J. (2007). Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: A prospective biomechanical-epidemiologic study. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(7), 1123-1130.

47. Zhou, J., Hao, Z., Yang, Y., Wang, R., & Jin, D. (2006). Sheng wu yi xue gong cheng xue za zhi = Journal of biomedical engineering = Shengwu yixue gongchengxue zazhi, 23(4), 903–906.