

Programa de prevención de riesgo de lesión del Ligamento Cruzado Anterior



María Paula Mayorga Bacca
Camila Alejandra Rivera Blanco



Universidad del
Rosario



Índice

Capítulo 1

Introducción..... 3

¿Qué es un ligamento?..... 5

Capítulo 2

Problemática..... 9

Capítulo 3

Mecanismos de lesión del
Ligamento

cruzado anterior..... 12

Capítulo 4

Sesión 1..... 17

Sesión 2..... 20

Sesión 3..... 22

Sesión 4..... 24

Sesión 5..... 26

Sesión 6..... 27

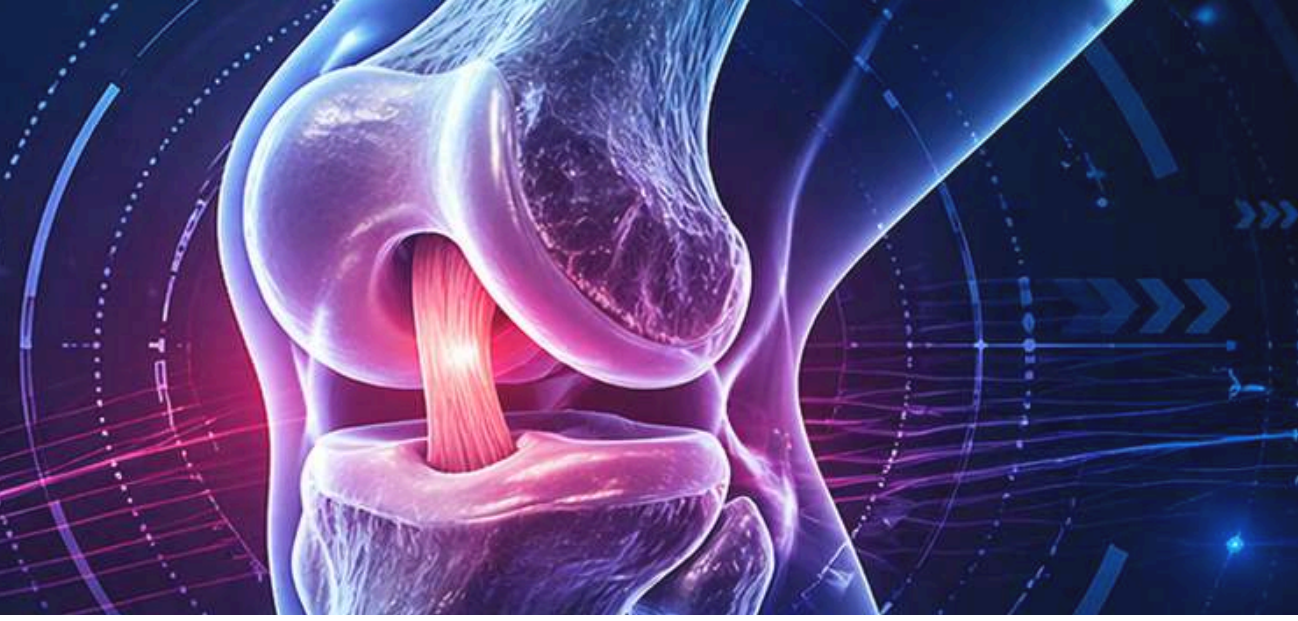
Sesión 7..... 30

Sesión 8..... 34

Capítulo 5

Referencias.....38

Capítulo 1



El ligamento cruzado anterior (LCA) es uno de los principales ligamentos intracapsulares estabilizadores de la articulación de la rodilla, siendo una de una lesión común se calcula que solo en Estados Unidos, se producen aproximadamente 250 000 lesiones del LCA anualmente. Esto se traduce en una probabilidad de 1 entre 3000 de que una persona de la población general sufra una lesión del LCA (1).

Chia et al. reportaron la proporción general de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) sin contacto respecto al total de lesiones del LCA fue del 55 % en adultos y del 68 % en adolescentes. Al realizar el subanálisis por sexo, se observó que dicha proporción correspondió al 60 % en mujeres y al 52 % en hombres. En cuanto al nivel de participación, la frecuencia de lesiones del LCA sin contacto fue del 61 % en atletas de nivel élite, 55 % en deportistas de nivel intermedio y 56 % en atletas amateurs. Posteriormente, al analizar esta variable según nivel competitivo y sexo, se encontró que, en el nivel élite, la proporción fue del 65 % en mujeres y del 59 % en hombres; en el nivel intermedio, del 58 % en mujeres y del 50 % en hombres; mientras que, en el nivel amateur, correspondió al 67 % en mujeres y al 48 % en hombres (1).

1. EL LCA: ESTABILIZADOR CLAVE DE LA RODILLA

El LCA se encuentra dentro de la cápsula articular y cumple un papel fundamental en la estabilidad de la rodilla.

Ligamento cruzado anterior (LCA)

FUNCIONES PRINCIPALES

- Evita la traslación anterior de la tibia respecto al fémur.
- Contribuye al control rotacional de la rodilla.
- Proporciona estabilidad durante movimientos dinámicos como saltos, giros y cambios de dirección.

2. UNA LESIÓN COMÚN

Las lesiones del LCA son frecuentes, especialmente en deportistas y personas activas.

- Salto
- Giros
- Cambios de dirección

Estas situaciones aumentan el riesgo de lesión del LCA.

3. UNA PROBLEMÁTICA DE SALUD PÚBLICA

Se calcula que solo en Estados Unidos, se producen aproximadamente:

250 000 lesiones del LCA anualmente.

Esto se traduce en una probabilidad de:

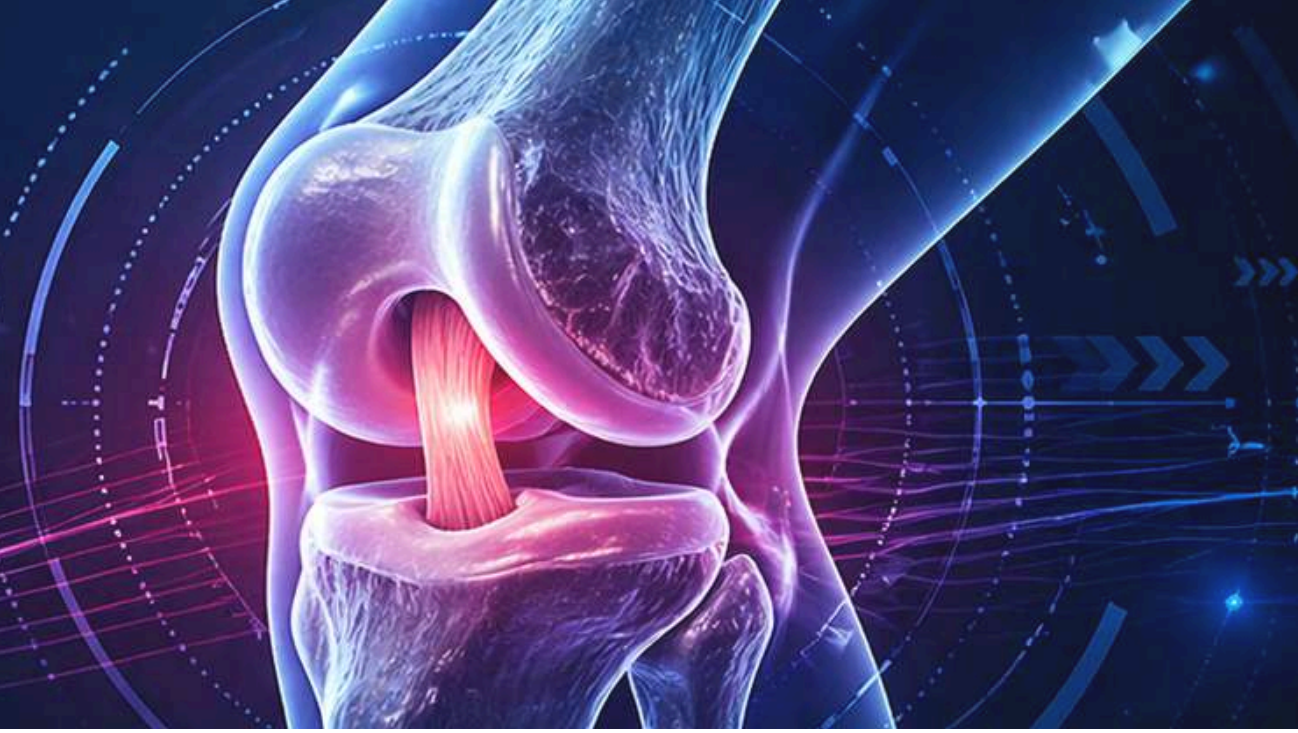
1 entre 3000 de que una persona de la población general sufra una lesión del LCA.

Estas cifras destacan la importancia de la prevención, el diagnóstico temprano y el tratamiento adecuado para reducir el impacto de esta lesión.

Por otro lado, a nivel de los mecanismos de lesión se obtiene una proporción general de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) sin contacto con respecto al total de lesiones en deportes de pelota en equipo fue del 55 %. Asimismo, la incidencia de lesiones del LCA sin contacto fue mayor en atletas femeninas en comparación con atletas masculinos dentro de este tipo de disciplinas, observándose además una mayor incidencia durante la competición en comparación con los entrenamientos. Al analizar la proporción de lesiones del LCA sin contacto según la disciplina deportiva, se encontró que esta correspondió al 66 % en floorball, 58 % en baloncesto, 54 % en rugby y 38 % en fútbol americano, evidenciando una elevada frecuencia de este mecanismo lesional en los deportes colectivos con balón (1).



Capítulo 1



En cuanto a la incidencia, en mujeres se reportó una tasa de 0,14 por cada 1000 horas-jugador (intervalo de confianza [IC] del 95 %: 0,10-0,19; I² = 40 %) y de 0,06 por cada 1000 exposiciones-jugador, mientras que en hombres la incidencia fue de 0,05 por cada 1000 horas-jugador y de 0,04 por cada 1000 exposiciones-jugador. Los deportes en los que se logró realizar una subclasificación por sexo fueron el fútbol y el baloncesto, encontrándose en ambos una mayor incidencia en mujeres. En conjunto, los hallazgos muestran que tanto la proporción como la incidencia de lesiones del LCA sin contacto fueron mayores en el grupo femenino de nivel élite, manteniéndose además una proporción superior al 50 % entre la adultez y la adolescencia con respecto al total de lesiones del LCA sin contacto (1).



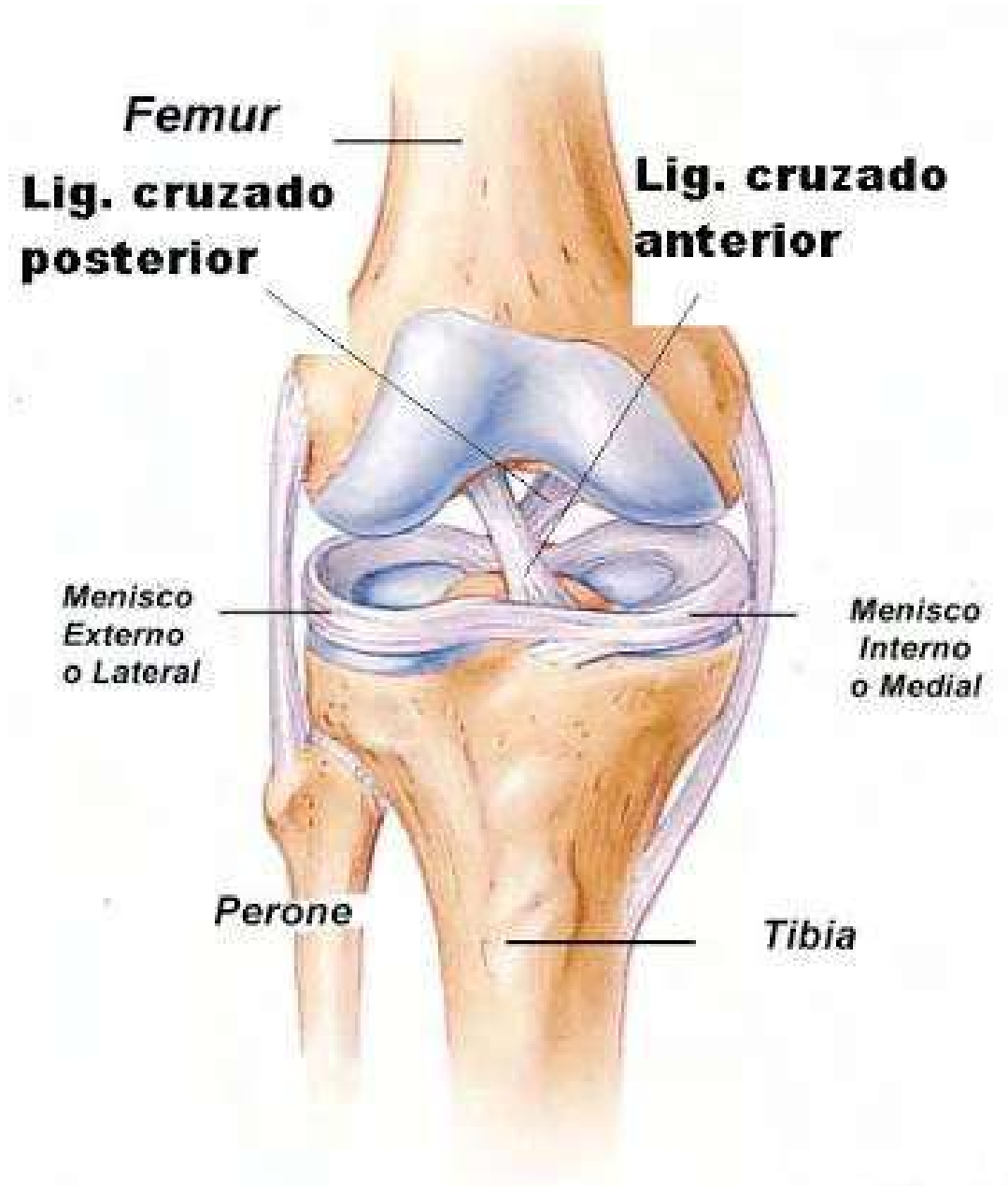
Capítulo 1

¿Que és un ligamento?

El ligamento cruzado anterior (LCA) es una banda de tejido conectivo denso ubicado en la articulación de la rodilla que se extiende desde el fémur hasta la tibia, está compuesto predominantemente de fibras de colágeno principalmente de tipo I (90%) y una pequeña cantidad de colágeno tipo III (10%); este es una estructura clave en la articulación de la rodilla, ya que resiste la traslación tibial anterior y las cargas rotacionales (2).

El LCA se compone de dos fascículos: el anteromedial (AMB) que contribuye principalmente a la estabilidad en ángulos mayores de flexión y el posterolateral (PLB) que desempeña un papel fundamental en la estabilización de la traslación tibial anterior cerca de la extensión. El LCA está constituido principalmente por el fascículo posterolateral. Durante el movimiento de la rodilla, la longitud y la orientación de ambos fascículos varían (3).

El LCA se compone de dos fascículos: el anteromedial (AMB) que contribuye principalmente a la estabilidad en ángulos mayores de flexión y el posterolateral (PLB) que desempeña un papel fundamental en la estabilización de la traslación tibial anterior cerca de la extensión. El LCA está constituido principalmente por el fascículo posterolateral. Durante el movimiento de la rodilla, la longitud y la orientación de ambos fascículos varían (3).



FLEXIÓN DE RODILLA

≈ 90°

Fascículo anteromedial (AM)
Se alarga y se tensa

Fascículo posterolateral (PL)
Se acorta y se relaja

ESTADO DE LOS FASCÍCULOS EN FLEXIÓN

Fascículo anteromedial (AM):
ALARGADO Y TENSO

Principal estabilizador (en flexión)

Fascículo posterolateral (PL):
ACORTADO Y RELAJADO

Menor contribución (en flexión)

EXTENSIÓN DE RODILLA

≈ 0°

Fascículo anteromedial (AM)
Permanece tenso, aunque en menor grado que el PL

Fascículo posterolateral (PL)
Se alarga y se tensa

ESTADO DE LOS FASCÍCULOS EN EXTENSIÓN

Fascículo anteromedial (AM):
TENSO (en menor grado)

Contribución secundaria (en extensión)

Fascículo posterolateral (PL):
ALARGADO Y TENSO

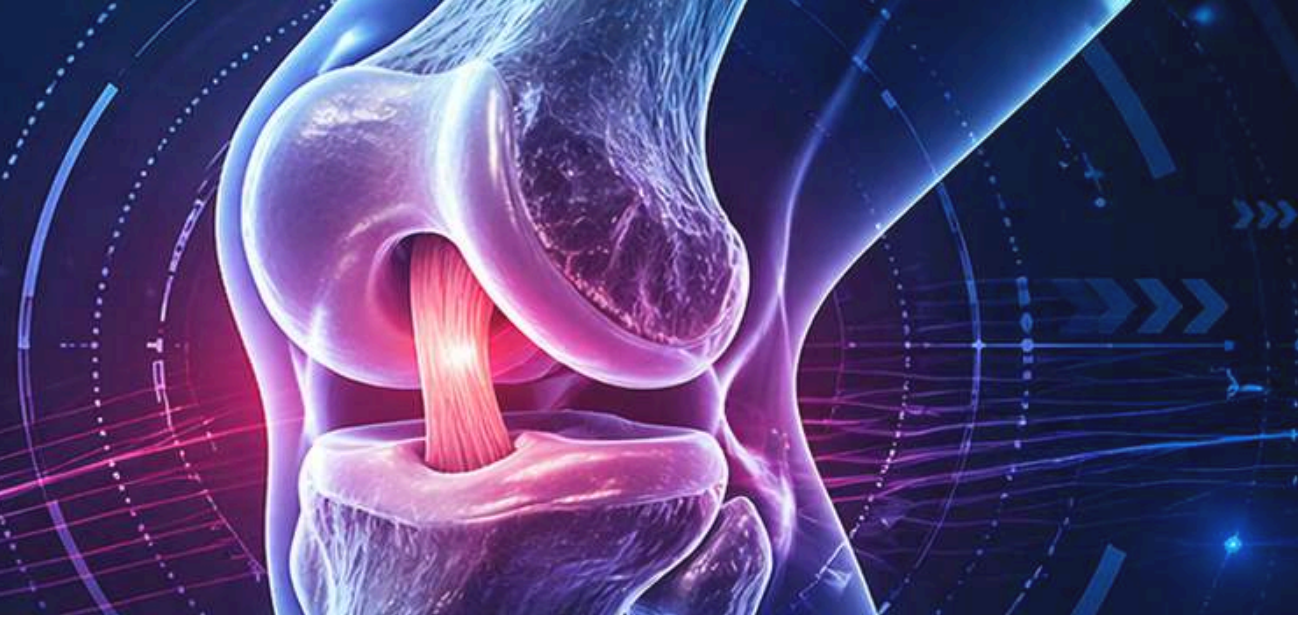
Principal estabilizador (en extensión)

REFERENCIAS

- Fascículo anteromedial (AM)
- Fascículo posterolateral (PL)

Estos fascículos trabajan de manera recíproca según el ángulo de la rodilla, optimizando la estabilidad anterior a lo largo de todo el rango de movimiento.

Capítulo 1

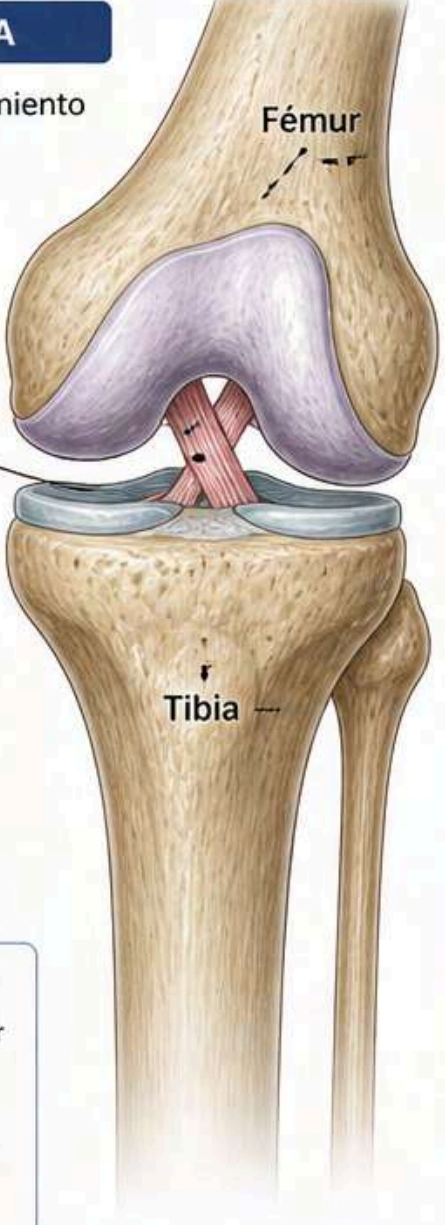


Traslación tibial anterior

El LCA actúa como la principal estructura restrictiva de la translación tibial anterior con respecto al fémur, cuando la rodilla se encuentra en extensión, la translación tibial anterior es mínima (hasta 2 mm), lo que contribuye a la estabilidad de la rodilla en bípedo (4). Con el aumento de la flexión de la rodilla, la translación tibial anterior también aumenta, alcanzando aproximadamente 3 mm durante la marcha y hasta 6 mm cuando se aplica una carga anterior.

FUNCIÓN DEL LCA

El LCA limita el desplazamiento anterior de la tibia con respecto al fémur, especialmente cuando la rodilla está en extensión.



LCA

Fémur

Tibia

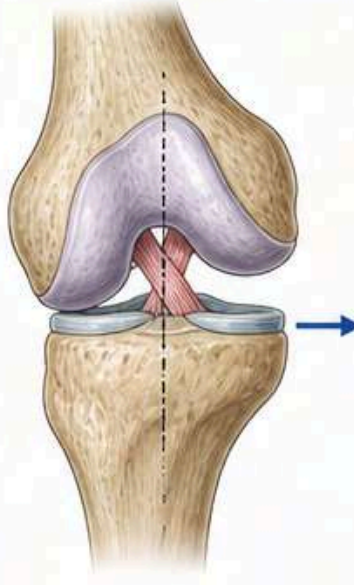
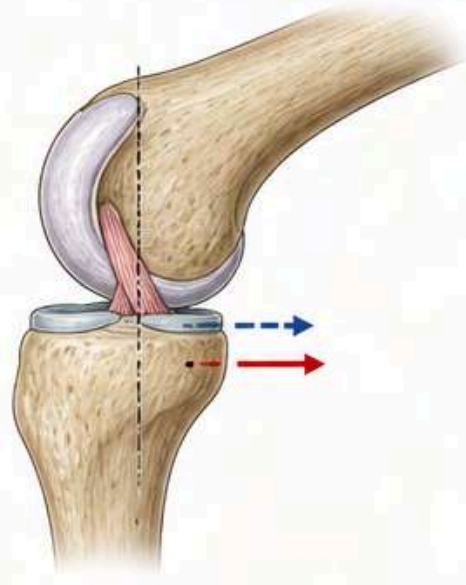
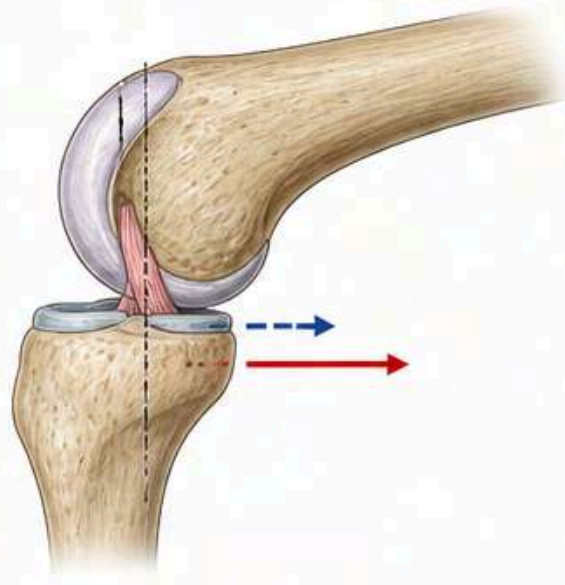
MECANISMO

El LCA se tensa principalmente en extensión, evitando la translación tibial anterior.

LEYENDA

- Traslación tibial anterior
- - - Movimiento fisiológico (durante la marcha)
- Con carga anterior (aplicada)

TRASLACIÓN TIBIAL ANTERIOR SEGÚN EL ÁNGULO DE FLEXIÓN DE RODILLA

EXTENSIÓN (0°)	FLEXIÓN MODERADA (≈ 30° - 60°)	FLEXIÓN PROFUNDA (≈ 90°)
 <p>Traslación tibial anterior mínima (hasta 2 mm)</p> <p>✓ En extensión, la translación tibial anterior es mínima, contribuyendo a la estabilidad de la rodilla en bípedo.</p>	 <p>Traslación tibial anterior ≈ 3 mm (durante la marcha)</p> <p>🚶 Con el aumento de la flexión, la translación tibial anterior aumenta, alcanzando aproximadamente 3 mm durante la marcha.</p>	 <p>Traslación tibial anterior hasta 6 mm (con carga anterior aplicada)</p> <p>🚶 Con mayor flexión y aplicación de carga anterior, la translación tibial anterior puede alcanzar hasta 6 mm.</p>

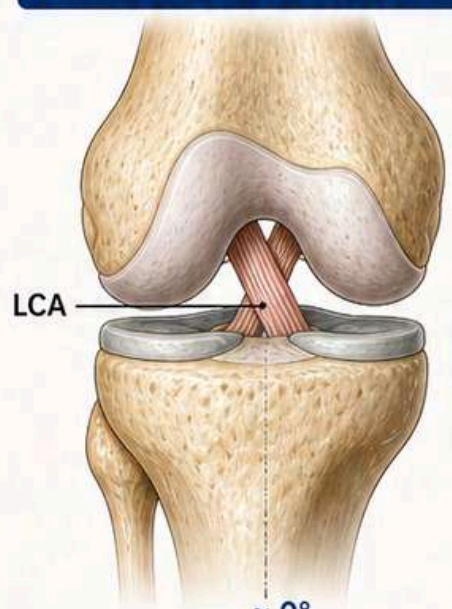
Zantop et al. observaron que, en rodillas con LCA lesionado, la translación tibial anterior puede aumentar entre 10 y 15 mm a 30 grados de flexión bajo una carga anterior de 134 N. En estudios con rodillas de cadáver, sin la acción de fuerzas musculares activas, se evidenció que el mayor incremento de la translación tibial anterior ocurre entre los 15 y 40 grados de flexión de la rodilla (5).

El grupo muscular isquiocruval contribuye a la flexión de la rodilla al conectar la tuberosidad isquiática con la tibia (pata de ganso) y la cabeza del peroné. A 90 grados de flexión, la activación de este grupo muscular ayuda a estabilizar activamente la translación tibial anterior

Torsión tibial

El LCA también funciona como un freno secundario para la rotación interna, especialmente cuando la articulación está cerca de la extensión completa. En un estudio de Fleming et al., un torque interno de la tibia de entre 0 y 10 Nm provocó la tensión del LCA in vivo. Así mismo, un estudio de Beynnon et al. Se demostró que un torque interno de entre 2 y 6 Nm provocó la tensión del AMB cuando la rodilla se flexiona a 90 grados (2).

CERCA DE LA EXTENSIÓN COMPLETA (≈ 0°)




Rotación interna

LCA

≈ 0°

FUNCIÓN DEL LCA



El LCA actúa como un freno secundario que limita la rotación interna de la tibia con respecto al fémur, especialmente cerca de la extensión completa.

Capítulo 1

Musculatura

Se ha informado que las mujeres presentan entre dos y siete veces más lesiones del (LCA) en comparación con sus homólogos masculinos de la misma edad. Se plantea que las mujeres pueden estar sometidas a mayores cargas sobre el LCA por unidad de peso corporal, en parte debido a una menor rigidez de la musculatura que rodea la rodilla.

En un estudio amplio y detallado, Hewett et al. evaluaron durante una década a atletas jóvenes, tanto hombres como mujeres, utilizando un enfoque combinado biomecánico y epidemiológico. Los resultados mostraron que las atletas femeninas presentan cuatro tipos principales de desequilibrios neuromusculares: dominancia ligamentosa, dominancia del cuádriceps, dominancia de las piernas y dominancia del tronco (6).

INCIDENCIA DE LESIONES DEL LCA

MUJERES **HOMBRES**

2-7
VECES MÁS
lesiones del LCA



Comparación entre individuos de la misma edad

¿POR QUÉ OCURRE?

Se plantea que las mujeres pueden estar sometidas a **mayores cargas sobre el LCA** por unidad de peso corporal, en parte debido a una **menor rigidez de la musculatura** que rodea la rodilla.

MUJERES **HOMBRES**

Menor rigidez muscular alrededor de la rodilla
↓
Mayores cargas sobre el LCA por unidad de peso corporal



Mayor rigidez muscular alrededor de la rodilla
↓
Menores cargas sobre el LCA por unidad de peso corporal

(Vista anterior)

1 DOMINANCIA LIGAMENTOSA



Predominio de las estructuras pasivas (ligamentos) sobre las activas (músculos) para estabilizar la rodilla.

→ Esto provoca colapso en valgo y mayor tensión sobre el LCA.

MAYOR RIESGO **CONSECUENCIA**



Colapso en valgo



Mayor tensión sobre el LCA

2 DOMINANCIA DEL CUÁDRICEPS



Tendencia a estabilizar la rodilla utilizando principalmente el cuádriceps, en lugar de una co-contracción equilibrada de músculos de la cadera, isquiotibiales y glúteos.

→ Aumenta la carga anterior de la tibia y el estrés sobre el LCA.

PATRÓN DE RIESGO **PATRÓN ÓPTIMO**

Predominio del cuádriceps



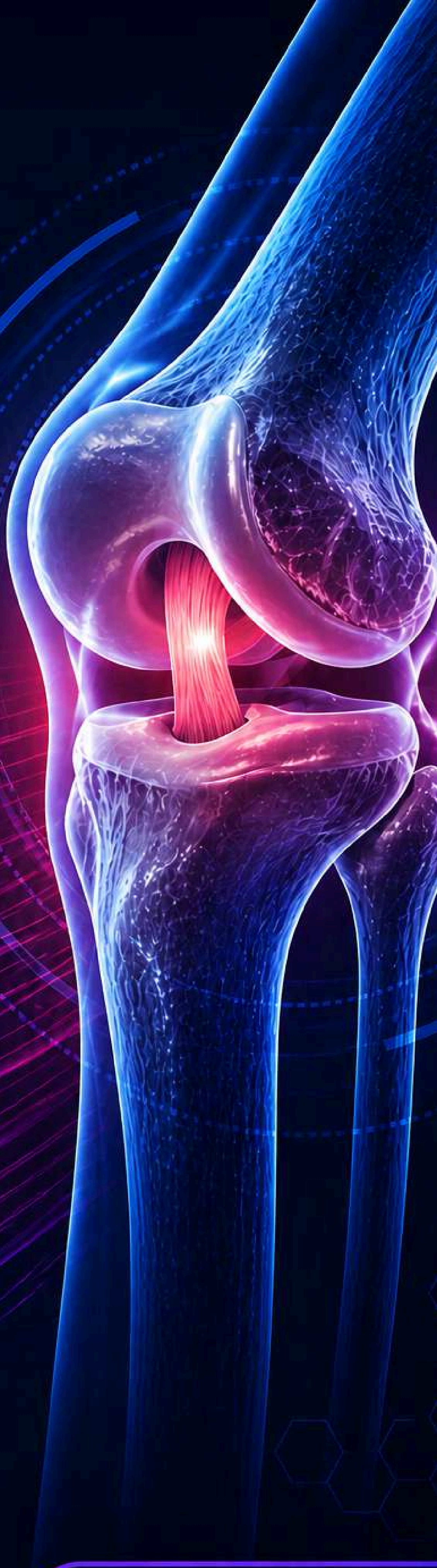
Co-contracción equilibrada



$F = m \cdot a$

CAPÍTULO

2



A → B

Capítulo 2

Problemática

Durante entrenamiento y competencias en diferentes disciplinas deportivas, los atletas desarrollan movimientos dinámicos. Deportes como el fútbol y baloncesto requieren gestos como el salto y aterrizaje. Estos aspectos conllevan a una alta incidencia de lesiones entre los deportistas, específicamente, la articulación de la rodilla ha demostrado ser el área corporal más afectada (7).

La lesión de Ligamento Cruzado Anterior (LCA) está asociada a un alto costo económico para el sistema de salud ya que la mayoría de estas requiere cirugía reconstructiva y para el deportista representa una disminución del nivel de actividad física y calidad de vida debido a periodos extensos de ausencia en el campo. Las lesiones de LCA de no contacto simbolizan alrededor del 70% de todas las lesiones de LCA, y la mayoría se consideran prevenibles. Cabe destacar que la ruptura de LCA en atletas femeninas es ocho veces más prevalente que en los hombres (8).



Las situaciones más comunes de lesión de LCA son en situaciones de desaceleración, cambios de dirección y aterrizaje posterior a un salto. Se ha demostrado que, programas de entrenamiento neuromusculares y biomecánicos reduce la incidencia de lesiones de LCA (3). Cabe destacar que, entre los factores de riesgo esta la combinación de aspectos anatómicos, fisiológicos y biomecánicos que puede aumentar la ocurrencia de lesiones (9).

Capítulo 2

Diversos estudios han demostrado que el análisis cinemático y cinético durante el salto y aterrizaje a dos pies, identifica patrones de movimiento que pueden aumentar el riesgo de lesión de no contacto de LCA como el ángulo y momento de valgo de rodilla y un aumento en la fuerza de reacción contra el suelo (10).

El análisis de movimiento 3D reconoce factores biomecánicos adicionales que conllevan a futuras lesiones, sin embargo, este sistema requiere tiempo y un alto costo económico, limitando su aplicabilidad (5). En el análisis cinético, la evaluación de los músculos estabilizadores de rodilla como el cuádriceps, y los isquiotibiales con electromiografía de superficie, desempeñan un rol fundamental en el riesgo de lesión de LCA.

Estudios han demostrado que una activación mayor de los músculos del cuádriceps frente a los músculos isquiotibiales aumentaría el estrés y la carga durante el aterrizaje, contribuyendo a un mayor riesgo de lesión de LCA. Además, una poca activación de estos músculos previos al aterrizaje también indicaría un factor de riesgo, ya que la mayoría de las lesiones de LCA ocurren 40 a 60 milisegundos después del contacto inicial con una traslación del tibial anterior (11,12).

ANÁLISIS DE MOVIMIENTO 3D

El análisis de movimiento 3D reconoce factores biomecánicos adicionales que conllevan a futuras lesiones, sin embargo, este sistema requiere tiempo y un alto costo económico, limitando su aplicabilidad (6).



Requiere tiempo extenso de análisis



Alto costo económico



Limitada aplicabilidad

ANÁLISIS CINÉTICO: ACTIVACIÓN MUSCULAR

En el análisis cinético, la evaluación de los músculos estabilizadores de rodilla como el cuádriceps, y los isquiotibiales con electromiografía de superficie, desempeñan un rol fundamental en el riesgo de lesión de LCA.

MÚSCULOS ESTABILIZADORES DE RODILLA

CUÁDRICEPS



ISQUIOTIBIALES



Estudios han demostrado que una activación mayor de los músculos del cuádriceps frente a los músculos isquiotibiales aumentaría el estrés y la carga durante el aterrizaje, contribuyendo a un mayor riesgo de lesión de LCA.

ACTIVACIÓN MUSCULAR PREVIA AL ATERRIZAJE

Además, una poca activación de estos músculos previos al aterrizaje también indicaría un factor de riesgo, ya que la mayoría de las lesiones de LCA ocurren 40 a 60 milisegundos después del contacto inicial con una traslación del tibial anterior (7,8).

SECUENCIA DE ATERRIZAJE Y LESIÓN DE LCA

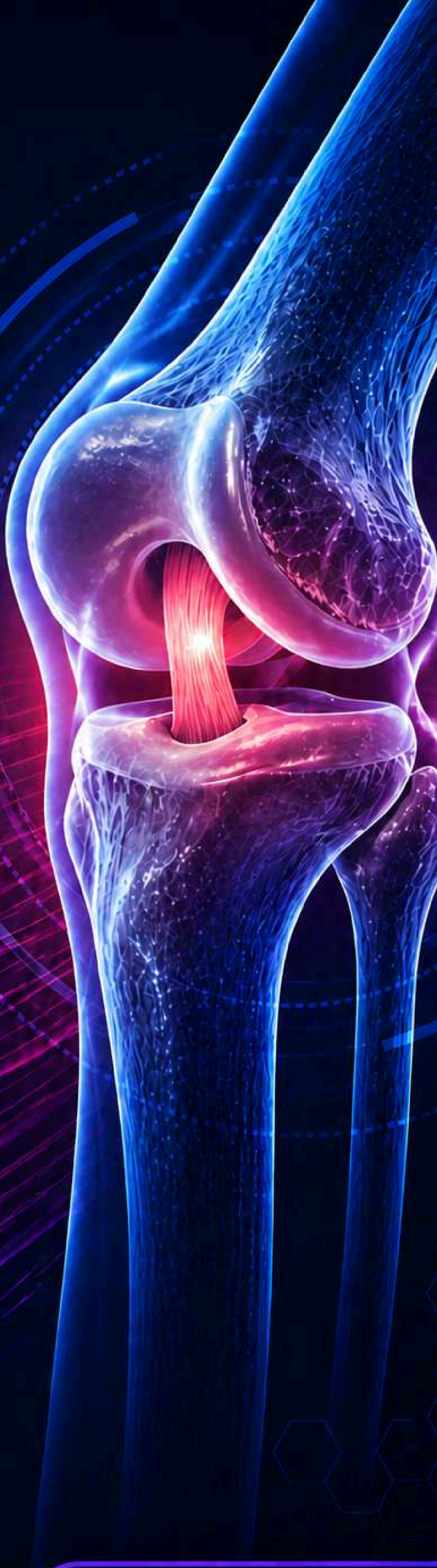


La evaluación de la activación muscular mediante electromiografía de superficie es clave para identificar factores de riesgo y diseñar estrategias de prevención efectivas para lesiones de LCA.

$F = m \cdot a$

CAPÍTULO

3



A → B

Capítulo 3

Mecanismos de lesión del Ligamento cruzado anterior

El ligamento cruzado anterior se encuentra sometido a tensión, cizallamiento y torsión, fuerzas que se ven aumentadas durante movimientos que involucran aceleración, frenado o cambios de dirección por la postura dinámica que se adopta durante la ejecución de la tarea. Por otro lado, otras variables que influyen en mayor riesgo de lesión son anatómicas, como las variación en el ancho de la escotadura intercondílea; ángulo de diáfisis femoral y la alineación de la meseta tibial como determinantes en la distribución del estrés del ligamento cruzado anterior (13).

FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL LCA



- TENSIÓN**
Fuerza que estira el ligamento.
- CIZALLAMIENTO**
Fuerza que desliza o desplaza las fibras del ligamento.
- TORSIÓN**
Fuerza de rotación que genera torsión en el ligamento.

OTRAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN MAYOR RIESGO DE LESIÓN

Factores anatómicos que pueden aumentar el estrés sobre el LCA y predisponer a lesiones.

- Variación en el ancho de la escotadura intercondílea**
Una escotadura más estrecha puede limitar el espacio para el LCA, aumentando el riesgo de lesión.
 - Escotadura ancha
 - Escotadura estrecha
- Ángulo de diáfisis femoral**
Un ángulo aumentado (valgo) puede incrementar las fuerzas de carga sobre el LCA.
 - Ángulo normal
 - Ángulo aumentado (valgo)
- Alineación de la meseta tibial**
Una alineación inadecuada puede alterar la distribución del estrés sobre el LCA.
 - Alineación normal
 - Alineación alterada

La combinación de estos factores anatómicos influye en la distribución de estrés del LCA y puede aumentar significativamente el riesgo de lesión.

AUMENTO DE LAS FUERZAS DURANTE MOVIMIENTOS DINÁMICOS

Las fuerzas sobre el LCA aumentan durante acciones que involucran:

ACELERACIÓN



FRENADO



CAMBIOS DE DIRECCIÓN



Estas acciones generan una postura dinámica que incrementa la carga mecánica sobre el LCA y el riesgo de lesión.

El primer contacto del pie con el suelo es crucial para la forma en que se disipan las fuerzas de reacción del suelo durante actividades deportivas como aterrizajes, desaceleraciones o alteraciones de dirección. En una táctica de aterrizaje que se considera segura, el antepié hace contacto primero, lo que permite una flexión progresiva del tobillo y la rodilla. Esta secuencia cinemática favorece la absorción de energía a través de contracciones excéntricas del cuádriceps y del tríceps sural, disminuyendo tanto la magnitud como la velocidad de transmisión de las cargas hacia la articulación de la rodilla (14).

TÁCTICA DE ATERRIZAJE SEGURA

El antepié hace contacto primero, lo que permite una flexión progresiva del tobillo y la rodilla.

- 1 Contacto inicial
- 2 Flexión de tobillo
- 3 Flexión de rodilla
- 4 Absorción y control



Este patrón de aterrizaje reduce el estrés sobre la articulación de la rodilla y disminuye el riesgo de lesión.

DISIPACIÓN DE FUERZAS Y ABSORCIÓN DE ENERGÍA

Esta secuencia cinemática favorece la absorción de energía a través de contracciones excéntricas del cuádriceps y del tríceps sural, disminuyendo tanto la magnitud como la velocidad de transmisión de las cargas hacia la articulación de la rodilla.



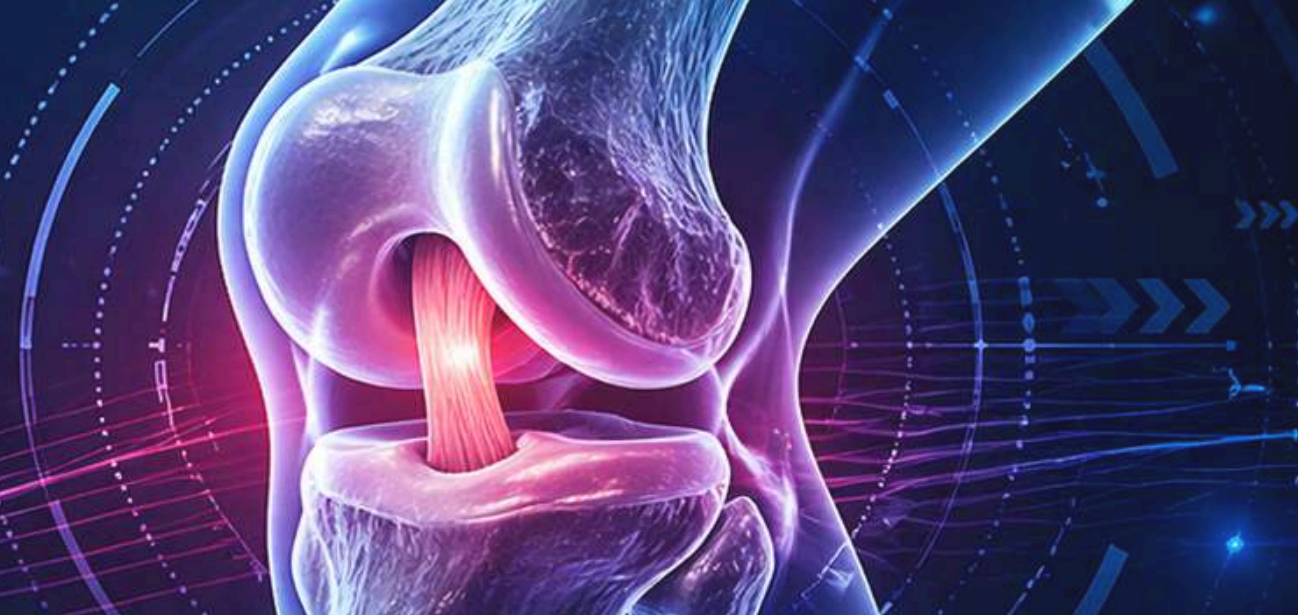
CUÁDRICEPS
Contracción excéntrica
Controla la flexión de la rodilla y absorbe la energía.

TRÍCEPS SURAL
Contracción excéntrica
Controla la flexión plantar del tobillo y absorbe la energía.

BENEFICIOS BIOMECÁNICOS

- Disminuye la magnitud de las cargas sobre la rodilla.
- Reduce la velocidad de transmisión de las fuerzas.
- Menor estrés articular y menor riesgo de lesión.

Capítulo 3



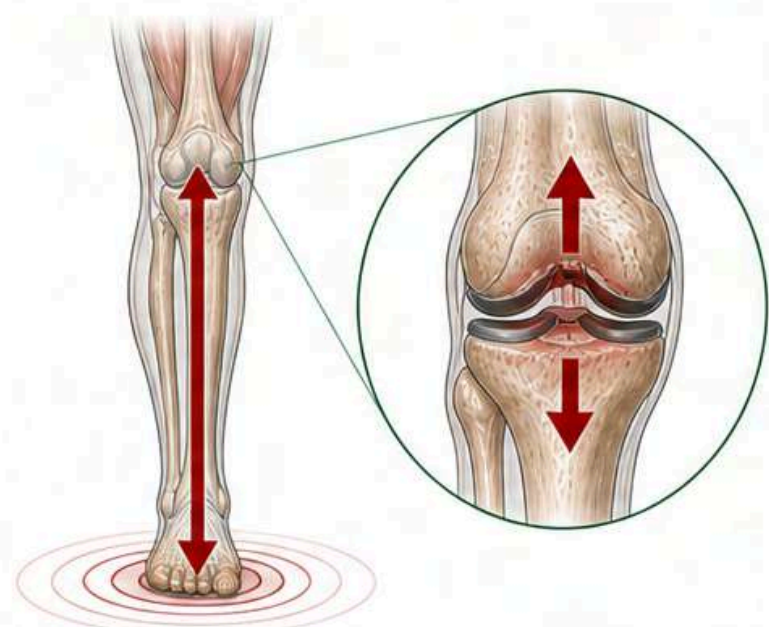
En contraste, si el aterrizaje sucede con el pie plano y la rodilla cerca de la extensión, la extremidad inferior actúa como una estructura más rígida. En esta acción, la capacidad muscular para amortiguar las fuerzas impulsivas se reduce de manera significativa, lo que favorece una elevada carga compresiva axial transmitida desde la tibia hacia el fémur. En estas circunstancias, la pendiente tibial y la geometría articular del cóndilo femoral lateral permiten que la fuerza de compresión se convierta en una traslación de la tibia hacia anterior, lo que aumenta directamente el esfuerzo tensil sobre el ligamento cruzado anterior. Este desplazamiento no depende de un movimiento activo de la tibia, sino del deslizamiento inducido por la carga axial aplicada sobre la articulación (15).



La alineación del cuerpo también ayuda al mecanismo de lesiones. La flexión de la cadera y la ubicación del centro de masa detrás de la base de soporte hacen que una porción de la energía lineal corporal se transforme en momento angular, lo que concentra las cargas sobre la rodilla. Esto incrementa la traslación tibiofemoral y, además, hace que la exigencia mecánica sobre el LCA sea mayor.

CONSECUENCIAS BIOMECÁNICAS

En esta acción, la capacidad muscular para amortiguar las fuerzas impulsivas se reduce de manera significativa, lo que favorece una **elevada carga compresiva axial transmitida desde la tibia hacia el fémur.**



Alta carga compresiva axial
Mayor estrés sobre las estructuras intraarticulares, incluyendo el ligamento cruzado anterior (LCA).

A pesar de que los movimientos en los planos frontal y transversal, como la rotación tibial o el valgo de rodilla, se ven generalmente durante el acontecimiento de lesión, desde una perspectiva biomecánica estos funcionan sobre todo como elementos moduladores. No provocan lesión por sí solos, pero tienen la capacidad de disminuir el umbral de carga que se necesita para que la fuerza axial cause la ruptura del ligamento (16).

Ya se han mencionado los momentos por los que cursa la articulación y los segmentos óseos para que se produzca con mayor riesgo la lesión del LCA, en estos movimientos se requiere de un análisis muscular. La falla en la coordinación neuromuscular durante el contacto y desaceleración necesaria durante actividades deportivas, la tracción del cuádriceps en una contracción excéntrica refleja supera la protección de los isquiotibiales, pues el dominante tiene una reacción tan potente que realiza una traslación tibial anterior y si no es compensado por una co-contracción efectiva de los isquiotibiales como estabilizadores, el mecanismo extensor termina por tensionar el ligamento hasta su rotura (17)

CONSECUENCIAS



Menor amortiguación de las fuerzas de impacto.



Mayor carga compresiva en la articulación de la rodilla.



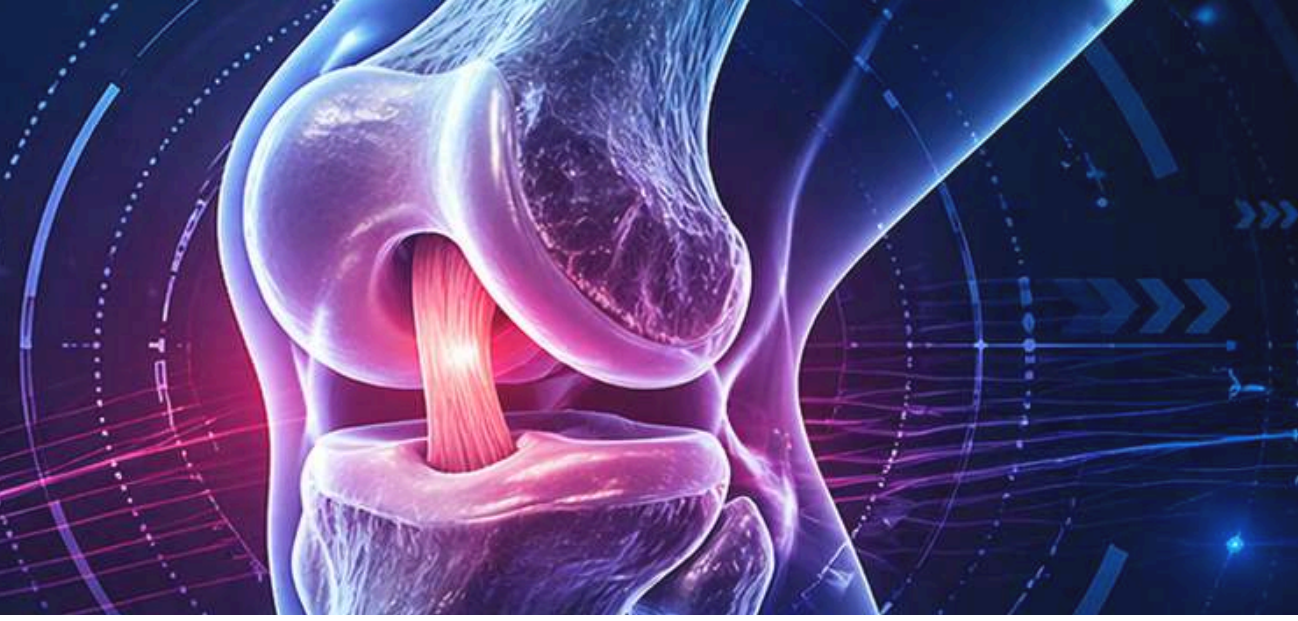
Aumento del riesgo de lesión, incluyendo lesiones del LCA.



MENSAJE CLAVE

Un aterrizaje con el pie plano y la rodilla casi extendida **limita la absorción de fuerzas y aumenta la carga sobre la rodilla, elevando el riesgo de lesiones.**

Capítulo 3



Un mayor ángulo y momento de valgo de rodilla durante tareas de salto y aterrizaje aumenta el riesgo de lesión del LCA, debido a alteraciones en el control neuromuscular. Hewett y colaboradores identificaron cuatro desequilibrios neuromusculares que contribuyen a esta lesión en atletas mujeres: *La dominancia del ligamento* se definió como el desequilibrio neuromuscular responsable del colapso del valgo. Los grupos musculares de soporte no se contraen adecuadamente ni absorben las fuerzas de reacción del suelo. *La dominancia del cuádriceps* se refiere a la tendencia a estabilizar la articulación de la rodilla utilizando principalmente el cuádriceps. Aterrizar tras un salto con menor flexión de rodilla aumenta el riesgo de sufrir una lesión del ligamento cruzado anterior (LCA). *La dominancia de la pierna* se define como la asimetría lateral de las extremidades inferiores, incluyendo el reclutamiento muscular, la fuerza y la flexibilidad. *La dominancia del tronco* describe la incapacidad de controlar con precisión el tronco en un espacio tridimensional. A diferencia de los factores anatómicos, estos factores pueden modificarse teóricamente mediante intervenciones adecuadas, por lo que investigadores recientes han enfatizado la importancia de la prevención de lesiones del LCA y han reportado la eficacia de los programas de prevención (18).

1 DOMINANCIA DEL LIGAMENTO
(Colapso del valgo)

La dominancia del ligamento se definió como el desequilibrio neuromuscular responsable del colapso del valgo.

Resultado
Aumento del estrés sobre el LCA.

2 DOMINANCIA DEL CUÁDRICEPS
(Predominio del cuádriceps)

Los grupos musculares de soporte no se contraen adecuadamente ni absorben las fuerzas de reacción del suelo.

La dominancia del cuádriceps se refiere a la tendencia a estabilizar la articulación de la rodilla utilizando principalmente el cuádriceps.

Resultado
Mayor carga anterior en la tibia → mayor riesgo para el LCA.

3 MENOR FLEXIÓN DE RODILLA AL ATERRIZAR

Aterrizar tras un salto con menor flexión de rodilla aumenta el riesgo de sufrir una lesión del ligamento cruzado anterior (LCA).

Resultado
Menor capacidad de absorción de impacto → mayor riesgo de LCA.

4 DOMINANCIA DE LA PIERNA
(Asimetría lateral)

La dominancia de la pierna se define como la asimetría lateral de las extremidades inferiores, incluyendo el reclutamiento muscular, la fuerza y la flexibilidad.

Resultado
Compensaciones que aumentan el riesgo de lesión.

5 DOMINANCIA DEL TRONCO
(Control insuficiente del tronco)

La dominancia del tronco describe la incapacidad de controlar con precisión el tronco en un espacio tridimensional.

Resultado
Desalineación del control postural → mayor riesgo para el LCA.

A diferencia de los factores anatómicos, estos factores **pueden modificarse** teóricamente mediante intervenciones adecuadas, por lo que investigadores recientes han enfatizado la importancia de la **prevención de lesiones del LCA** y han reportado la **eficacia de los programas de prevención** (11).

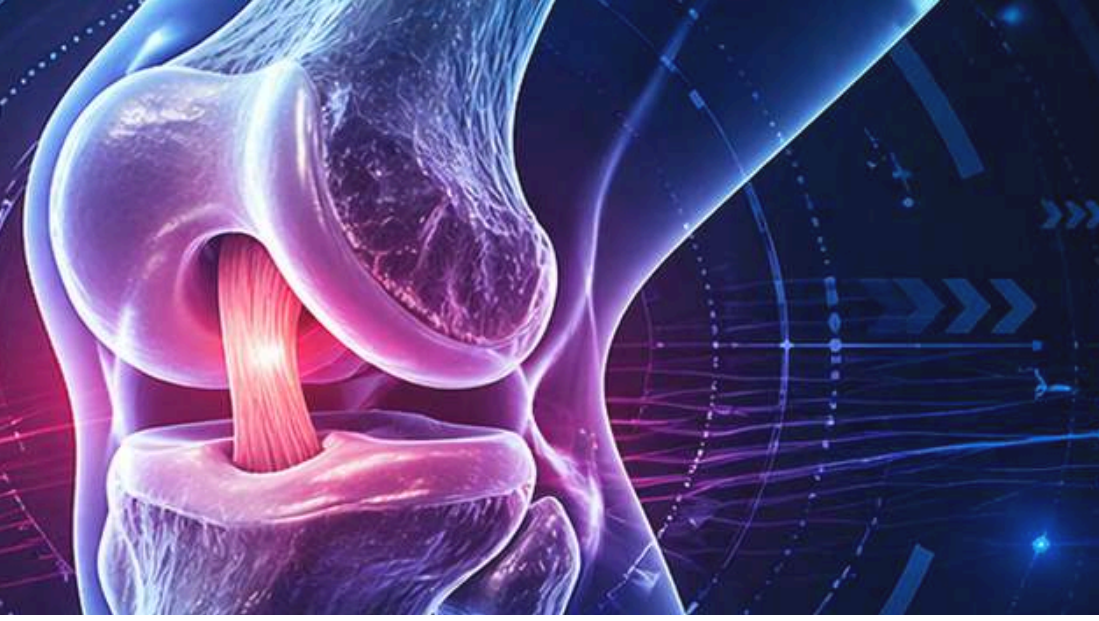
INTERVENCIONES EFECTIVAS PARA REDUCIR EL RIESGO DE LESIÓN DE LCA

Entrenamiento neuromuscular	Técnica adecuada de salto y aterrizaje	Fortalecimiento de grupos musculares clave	Entrenamiento de control del tronco y estabilidad	Corrección de asimetrías

Otro factor de riesgo son las inestabilidades lumbopélvicas, el tronco es el centro que regula las perturbación del equilibrio, pues estar sobre superficies inestables envía señales al sistema nervioso central, el cual reacciona con contracciones en función del control postural para estabilizar la columna, y si esta respuesta no es eficiente los miembros inferiores deben soportar las falencias de este mecanismo, por lo tanto, la verticalidad falla y aumenta el estrés de los tejidos adyacentes (12,13).



Capítulo 3



2 RESPUESTA DEL SISTEMA NERVIOSO

El SNC reacciona con contracciones musculares en función del control postural para estabilizar la columna.



Contracciones musculares para el control postural

Estabilizadores profundos del core



Estabilizadores de la columna y pelvis



Objetivo: mantener la estabilidad de la columna y la alineación corporal.

3 CUANDO LA RESPUESTA NO ES EFICIENTE

Si esta respuesta no es eficiente, los miembros inferiores deben soportar las falencias de este mecanismo.

✓ Respuesta eficiente



El tronco estabiliza adecuadamente. Menor demanda y estrés en miembros inferiores.

✗ Respuesta ineficiente



El tronco no estabiliza de forma adecuada. Mayor demanda y estrés en miembros inferiores.

4 CONSECUENCIAS DE UNA INESTABILIDAD LUMBO-PÉLVICA

Por lo tanto, la verticalidad falla y aumenta el estrés de los tejidos adyacentes.

Falla de la verticalidad



Aumento del estrés en los tejidos adyacentes



Rodilla



Cadera



Columna lumbar

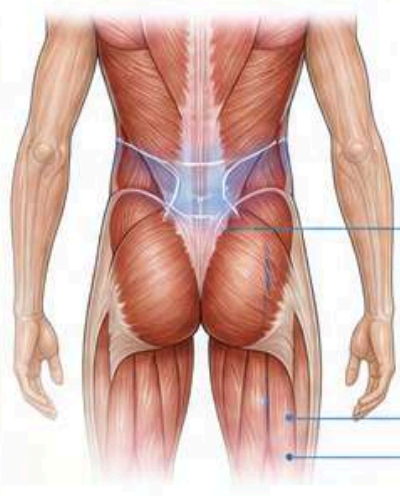


El aumento del estrés repetitivo puede predisponer a lesiones musculoesqueléticas.

La sinergia muscular a nivel lumbo-pélvico es fundamental para la estabilidad del CORE, pelvis y tobillo, debido a que la falta de resistencia causa activaciones asimétricas, retrasando la reacción frente a movimientos esporádicos y lesivos presentes en el gesto deportivo. Esto lleva a la importancia de la estabilidad lumbo pélvica como regulador de cualquier movimiento, no es únicamente sobre la capacidad de resistir o superar carga, sino la eficiencia con la que se cumple ante las diferentes perturbaciones. Contar con un buen centro muscular reduce la fatiga que mejora el control neuromuscular y el balance dinámico (19).

En resumen, el mecanismo biomecánico de lesión de no contacto del LCA puede caracterizarse como un evento multiplanar determinado por la carga axial. En este escenario, una postura rígida al aterrizar, una disipación de fuerzas musculares poco adecuada y una mala cinemática tibiofemoral y lumbopélvica se combinan para provocar una tensión excesiva en el LCA, lo que lleva a su fallo estructural.

La coordinación muscular adecuada asegura estabilidad en tres niveles clave.



CORE

Controla la estabilidad del tronco y la transferencia de fuerzas.



PELVIS

Conecta y transmite fuerzas entre el tronco y las extremidades.



TOBILLO

Asegura el equilibrio, la absorción de cargas y la propulsión.

La falta de resistencia muscular provoca activaciones asimétricas, retrasando la reacción ante movimientos esporádicos y lesivos.

ACTIVACIÓN SIMÉTRICA Y EFICIENTE (Buena resistencia)



- ✓ Activación simétrica
- ✓ Respuesta rápida y eficiente
- ✓ Mayor control neuromuscular
- ✓ Menor riesgo de lesión

VS.

ACTIVACIÓN ASIMÉTRICA Y RETRASADA (Baja resistencia)



- ✗ Activación asimétrica
- ✗ Respuesta lenta
- ✗ Menor control neuromuscular
- ✗ Mayor riesgo de lesión

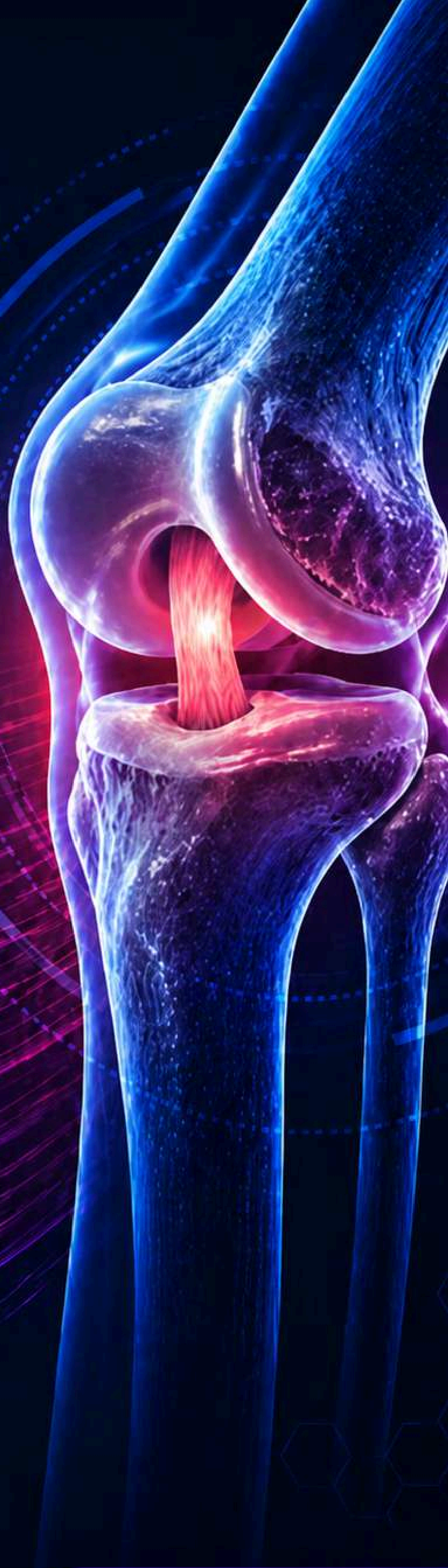
$F = m \cdot a$

CAPÍTULO

4



A → B



Capítulo 4

Fortalecimiento muscular

La literatura científica respalda que la fuerza y el control neuromuscular del complejo lumbo-pélvico (core) desempeñan un papel protector en la prevención de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA). La deficiencia o inestabilidad de este componente altera el control postural y la alineación dinámica del miembro inferior, incrementando el estrés sobre las estructuras periarticulares y favoreciendo patrones biomecánicos de valgo dinámico durante aterrizajes y maniobras de cambio rápido de dirección, en las sesiones incluimos una combinación de factores de fortalecimiento, coordinación motora y habilidades enfocadas en disminuir los específicos mecanismos de lesión

Objetivos de las sesiones:

1 & 2

Fortalecer la musculatura estabilizadora del core mediante ejercicios de sobrecarga progresiva, con el fin de mejorar el **control lumbopélvico** y favorecer la **estabilidad dinámica** de la rodilla durante aterrizaje

Fortalecer el complejo muscular de la cadera para mejorar el control del **valgo dinámico de rodilla** y la traslación anterior tibial, durante actividades de aterrizaje o cambios de dirección involucrados en el gesto deportivo.

3 & 4

Mejorar la activación y coordinación de la musculatura estabilizadora lumbopélvica para optimizar la estabilidad dinámica, disminuir el valgo de rodilla y la traslación tibial.

5 & 6

Optimizar el control postural en apoyo unipodal y bipodal mediante entrenamiento en superficies inestables, con el fin de reducir el tiempo de respuesta muscular ante perturbaciones de la estabilidad reactiva.

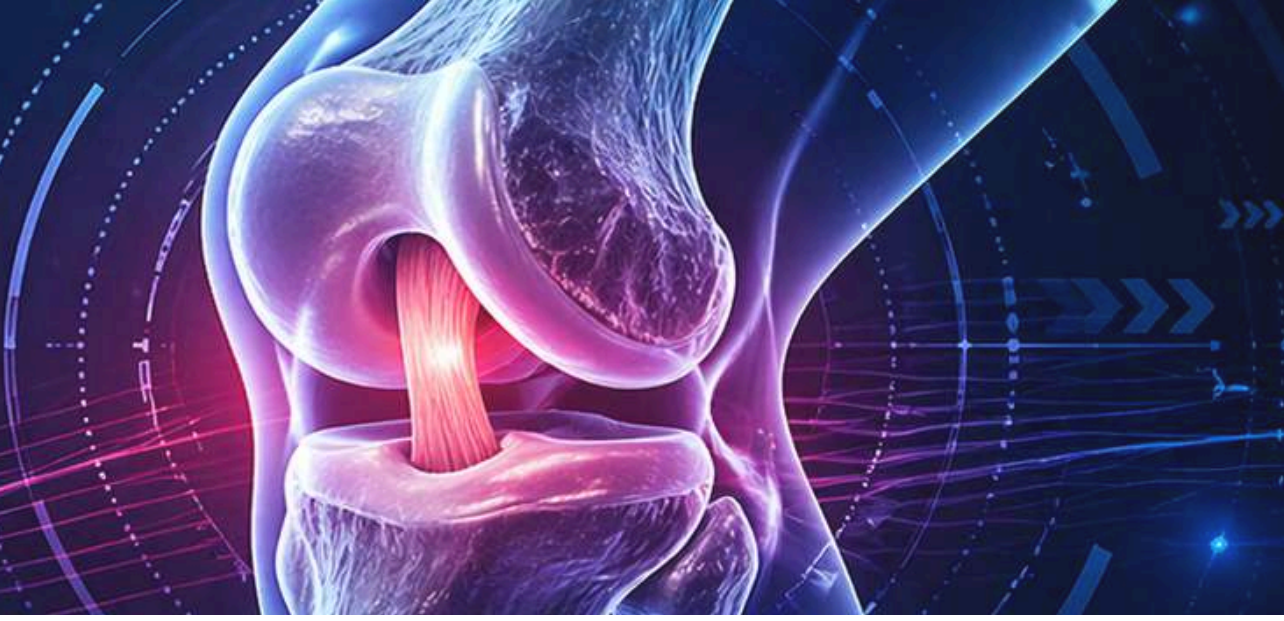
7 & 8

Incrementar la eficiencia en la ejecución de cambios de dirección, optimizando la mecánica de apoyo y la transferencia de fuerza en movimientos laterales y multidireccionales.

Mejorar el control neuromuscular durante desaceleraciones, fortaleciendo la estabilidad dinámica y la coordinación a través de ejercicios propioceptivos específicos.



Capítulo 4

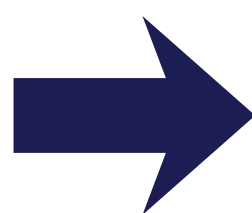


La cartilla se encuentra organizada por sesiones, las cuales están divididas en dos o tres estaciones de trabajo según los objetivos de cada fase. En cada estación se especifica el volumen, número de repeticiones o tiempo de ejecución correspondiente para cada ejercicio, con el fin de facilitar su adecuada aplicación y dosificación. Además, algunos ejercicios incluyen especificaciones importantes relacionadas con la técnica, postura o ejecución, cuando estas son necesarias para garantizar un correcto desarrollo de la actividad. Finalmente, cada ejercicio cuenta con una breve descripción que permite comprender de manera clara su realización y propósito dentro del programa de entrenamiento.

Sesión 1

Estación 1: 40 seg / 3 series

Plancha frontal con antebrazos



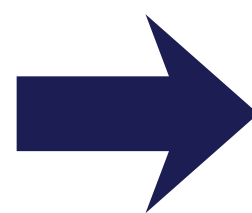
Indicaciones

Ubicado boca abajo apoye su peso en antebrazos y las puntas de los pies.

IMPORTANTE!

Los codos alineados a los hombros y el cuerpo en línea recta, evite que la pelvis caiga.

Puente glúteo



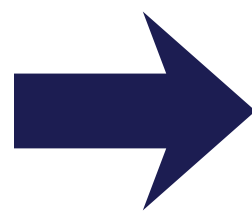
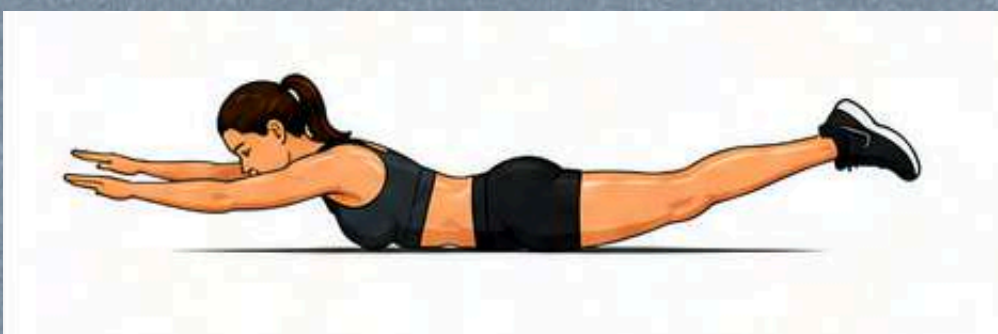
Indicaciones

Elevación de pelvis con rodillas flexionadas, alineando cabeza hasta rodillas.

Capítulo 4

Estación 2: 40 seg / 3 series

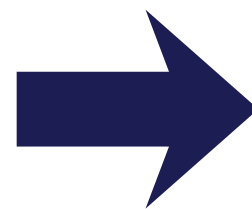
Superman



Indicaciones

Elevar simultáneamente brazos, tórax y miembros inferiores del suelo

Crunch abdomen



Indicaciones

Ubicación hacia arriba flexión parcial de tronco elevando la región escapular mediante contracción abdominal.

Recuerda realizar los ejercicios de forma consciente y con buena técnica; es mejor hacer pocas repeticiones bien ejecutadas que muchas de forma incorrecta.

Capítulo 4

Estación 3: 40 seg / 3 series

Bird dog



Indicaciones

Extensión simultánea de un brazo y la pierna contraria en cuatro apoyos, manteniendo pelvis neutra y tronco estable.

Plancha lateral



Indicaciones

Mantenerse en posición lateral con apoyo en antebrazo y pie, manteniendo alineación corporal.

Plancha frontal con antebrazos y unipodal



Indicaciones

Variante de plancha frontal con elevación de una pierna para reducir la base de apoyo.

Capítulo 4

Sesión 2

Estación 1: 40 seg / 3 series

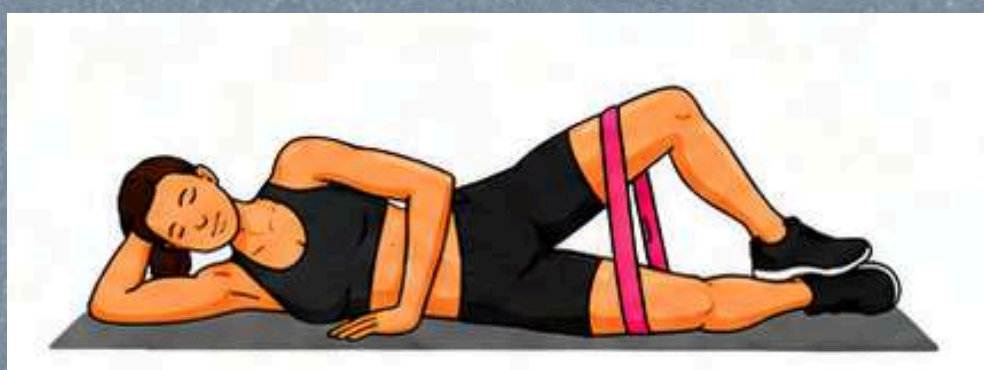
Flexo - extensión de cadera



Indicaciones

En posición de cuadrupedia, se realiza una extensión de cadera hacia atrás venciendo la resistencia de una banda elástica colocada sobre las rodillas.

Clamshell



Indicaciones

Acostada de lado con las rodillas semi-flexionadas, se eleva la pierna superior, manteniendo los pies juntos

Estación 2: 40 seg / 3 series

Stepdown



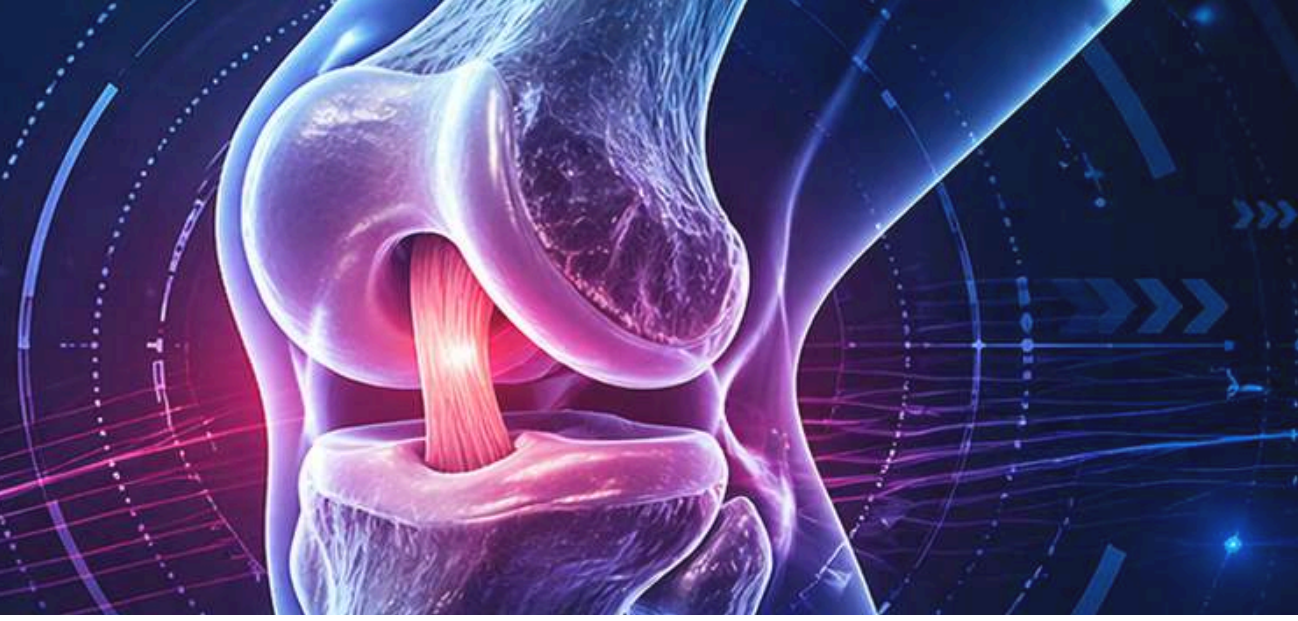
Indicaciones

Encima de un escalón o caja, se baja un pie lentamente hasta rozar el suelo y se vuelve a subir.

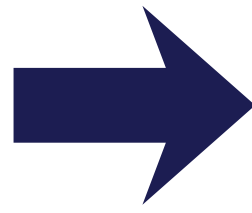
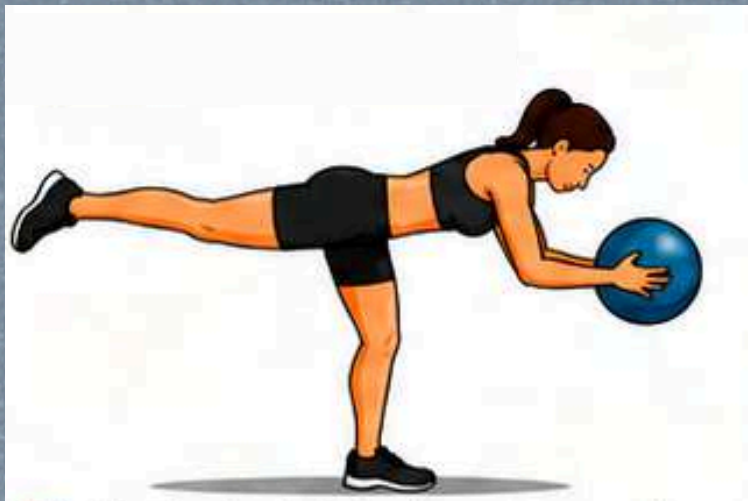
IMPORTANTE!

Se debe efectuar el descenso de forma controlada

Capítulo 4



Single-leg RDL con pelota

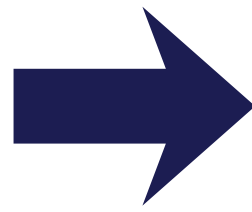


Indicaciones

Apoyar solo una extremidad y agarrar la pelota con ambas manos sobre la pierna, para luego bajarla hasta la mitad de la espinilla o hasta donde le permita su flexibilidad

Estación 3: 40 seg / 3 series

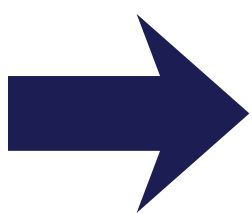
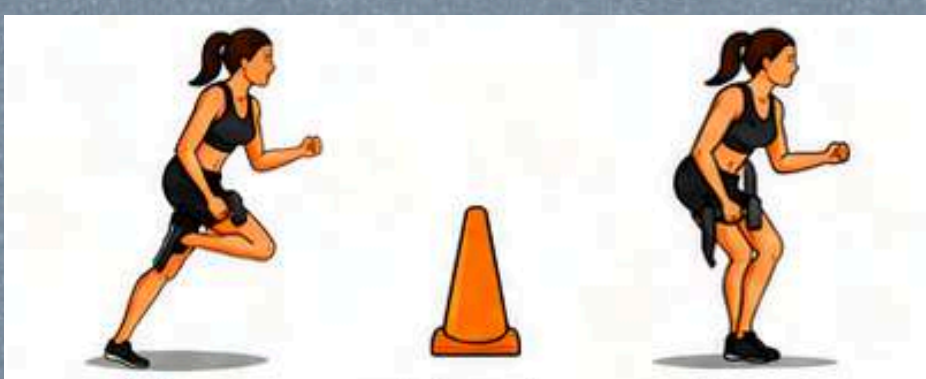
Lunges con peso



Indicaciones

Sostener las mancuernas a los lados y dar un paso hacia adelante formando con las rodillas un ángulo de aproximadamente 90°.

Saltos unipodales con obstaculo



Indicaciones

Saltos explosivos realizados con una sola pierna para superar un cono, en dirección anterior.

Capítulo 4

Potenciar la coordinación motora isquiosural, estabilizadora de cadera y rodilla para favorecer una co-contracción efectiva con el cuádriceps, mediante ejercicios neuromotores que disminuyan el valgo de rodilla y el estrés mecánico sobre el ligamento cruzado anterior durante el gesto deportivo.

Sesión 3

Estación 1: 40 seg / 3 series

Jump-landing technique

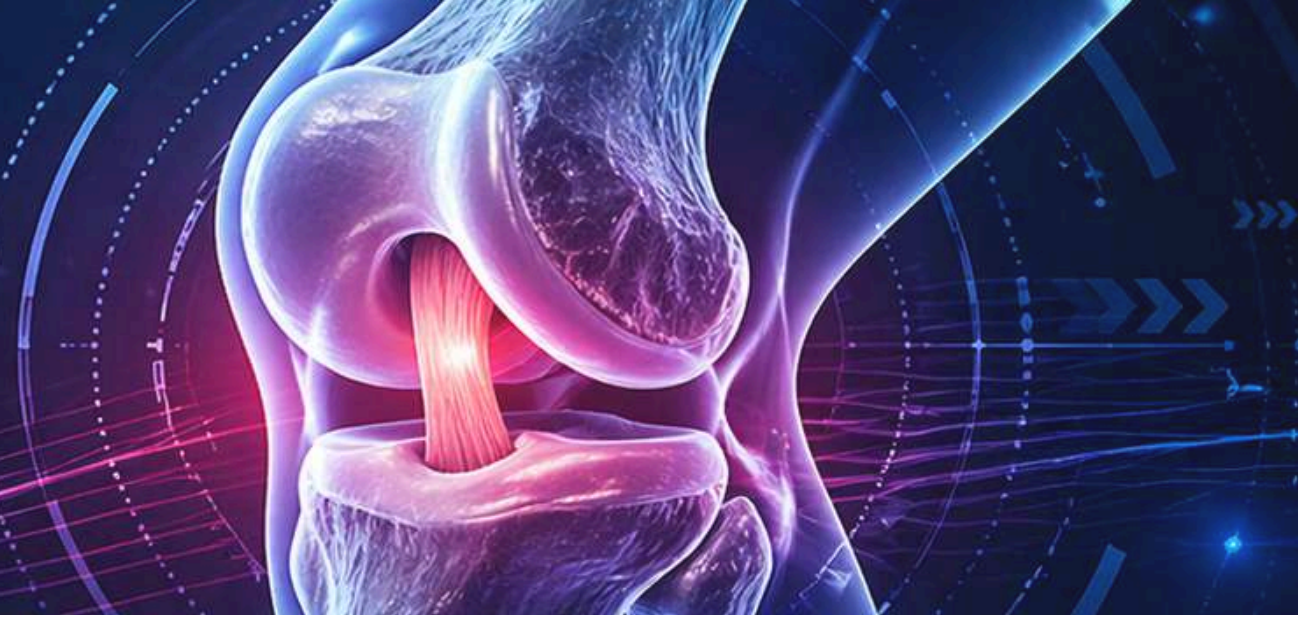


Indicaciones

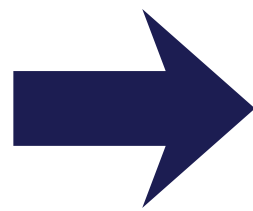
Se realiza un salto desde una superficie con altura baja hacia el suelo. El primer contacto con el suelo debe ser en puntas de pie y luego talon, se flexiona rodilla y cadera para mejor distribución del peso.

Ser conciente de una posición neutra de las rodillas al caer en el suelo

Capítulo 4



Pistol squat parcial con feedback

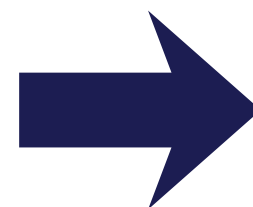


Indicaciones

Apoyado en un solo pie, desciende la cadera como si fueras a sentarte en una silla alta. El "feedback" puede ser un espejo para controlar la alineación o un cajón/banco que toque ligeramente tus glúteos para indicarte hasta dónde bajar.

Estación 2: 40 seg / 3 series

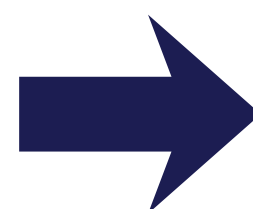
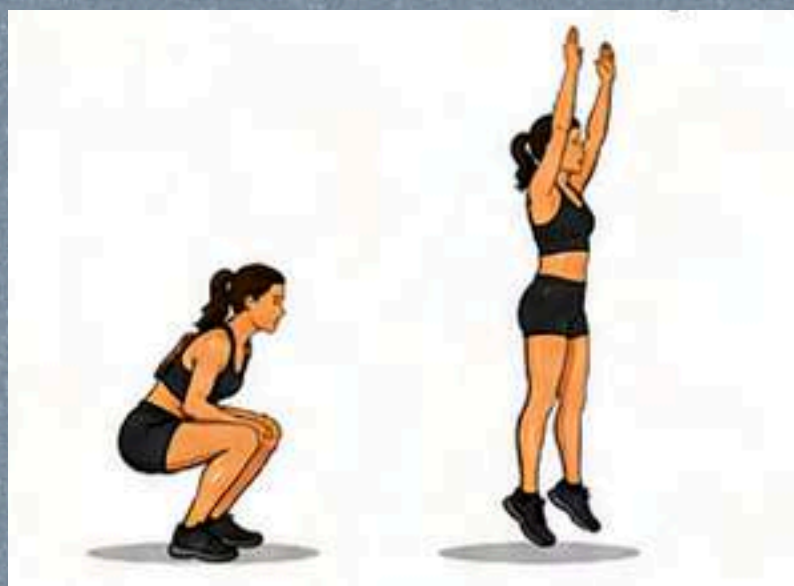
Sentadillas convencional con superficie inestable



Indicaciones

Pies al ancho de los hombros sobre la superficie inestable, realiza el descenso manteniendo el torso erguido.

Rebote en sentadilla y salto



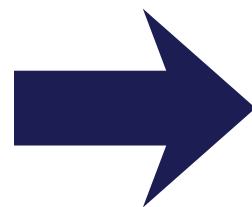
Indicaciones

Sentadilla profunda con pequeñas oscilaciones = rebote en la parte más baja del descenso, y luego sube explosivamente extendiendo caderas y rodillas dando un pequeño salto o una extensión de brazos

Capítulo 4

Estación 3: 40 seg / 3 series

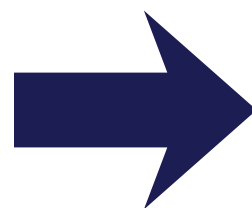
Sentadilla y rotación externa con banda



Indicaciones

Con una banda de resistencia (miniband) justo por debajo de las rodillas se mantiene una posición de media sentadilla estática (isométrica). Desde ahí, empuja las rodillas hacia afuera venciendo la resistencia de la banda, sin mover los pies.

Puente con una pierna/ bilateral con plantiflexión del pie de apoyo



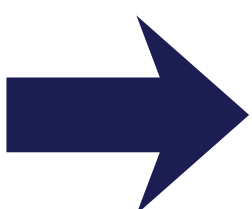
Indicaciones

Acostado boca arriba, eleva la pelvis manteniendo una pierna extendida en el aire. Cuando tu cuerpo forme una línea recta desde el hombro hasta el pie elevado, mantén la posición y despega el talón del pie de apoyo, quedando sobre la punta.

Sesión 4

Estación 1: 40 seg / 3 series

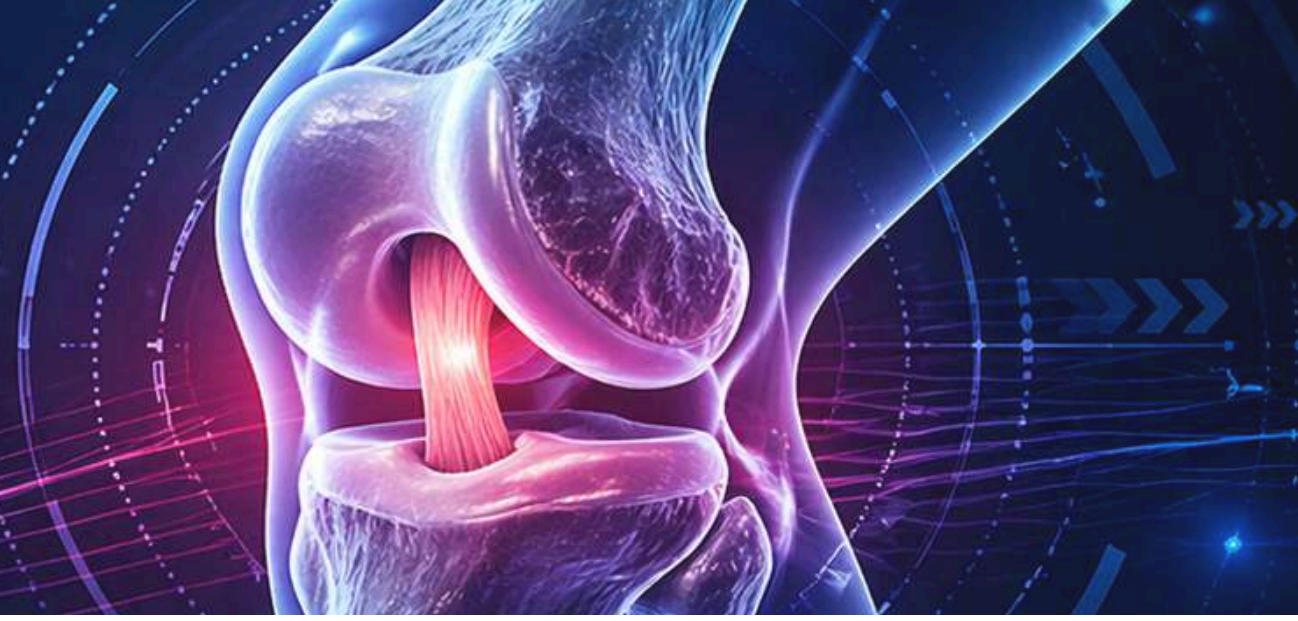
Aterrizaje de suelo a piso



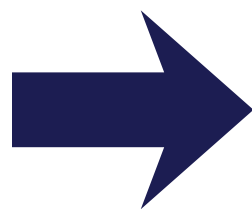
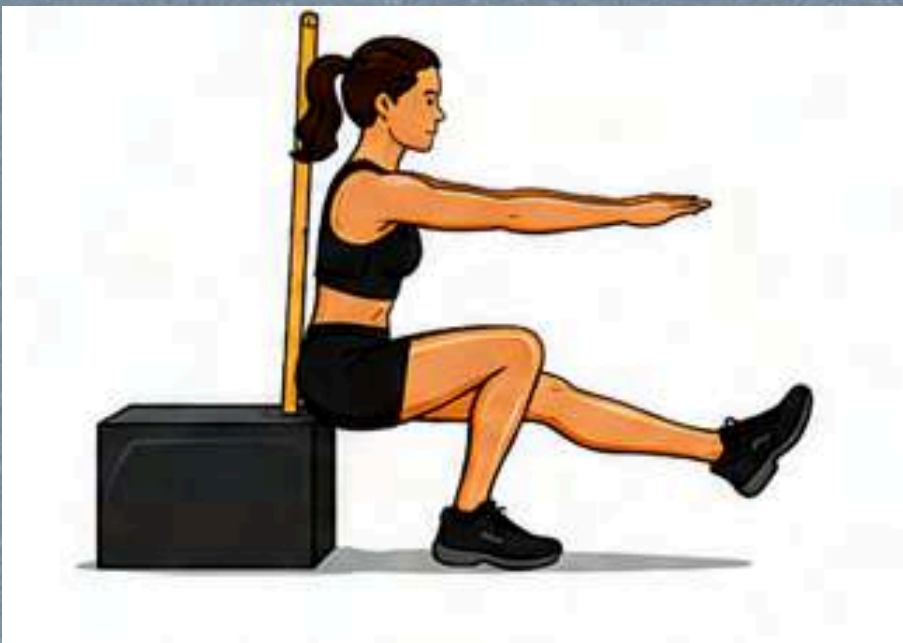
Indicaciones

Realizar un pequeño salto hacia arriba y aterriza suavemente en el sitio más alto, amortiguando con flexión de cadera y rodilla

Capítulo 4



Pistol squat parcial con feedback

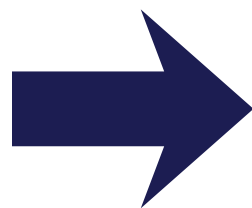


Indicaciones

Apoiado en un solo pie, desciende la cadera como si fueras a sentarte en una silla alta. El "feedback" puede ser un espejo para controlar la alineación o un cajón/banco que toque ligeramente tus glúteos para indicarte hasta dónde bajar.

Estación 2: 40 seg / 3 series

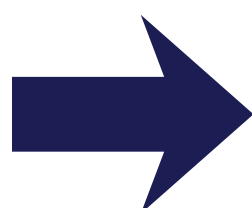
Saltos laterales sobre pequeño obstaculo (bipodal)



Indicaciones

Los pies juntos saltando de lado a lado sobre un obstaculo pequeño. El movimiento debe ser fluido, continuo, con un despegue y aterrizaje simultaneo. El tronco debe estar lo más estable y erguido posible.

Saltos anteroposteriores sobre pequeño obstaculo (unipodal)



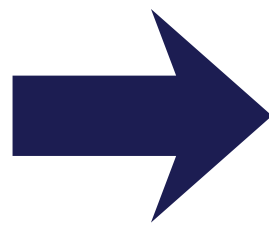
Indicaciones

Apoiado en una sola pierna, realiza saltos hacia adelante y hacia atrás sobre un obstáculo pequeño. El movimiento debe ser fluido y continuo, junto con el tronco estable y erguido.

Capítulo 4

Estación 3: 40 seg / 3 series

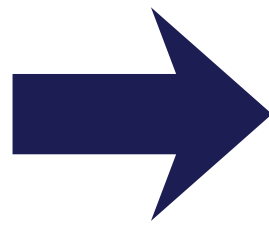
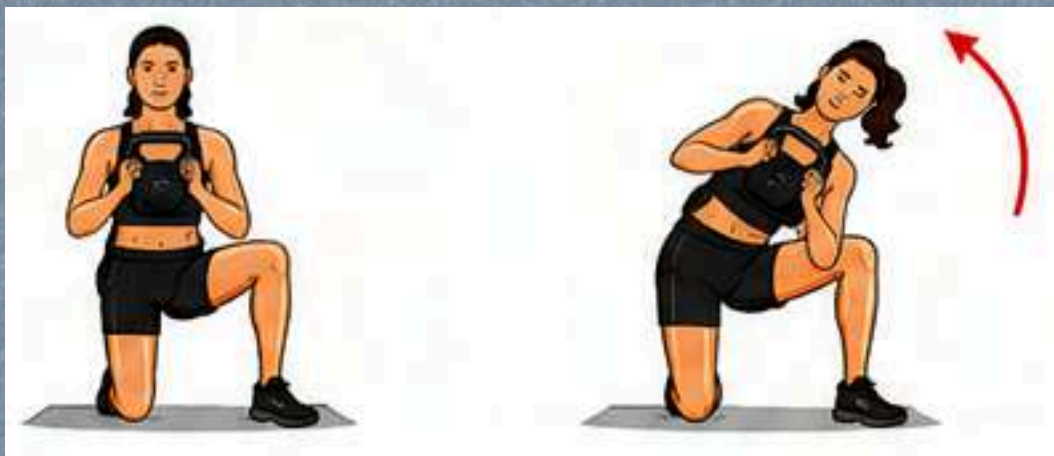
Superman (movimiento cruzada)



Indicaciones

Boca abajo, extiende simultáneamente el brazo derecho la pierna contraria hacia arriba hasta que queden alineados con el tronco.

Lateralización de tronco en posición de caballero



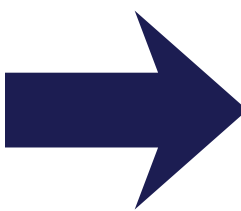
Indicaciones

Una rodilla apoyada en el suelo y la otra pierna al frente flexionada a 90°. Inclina el tronco lateralmente hacia el lado de la pierna que está adelantada.

Sesión 5

Estación 1: 40 seg / 3 series

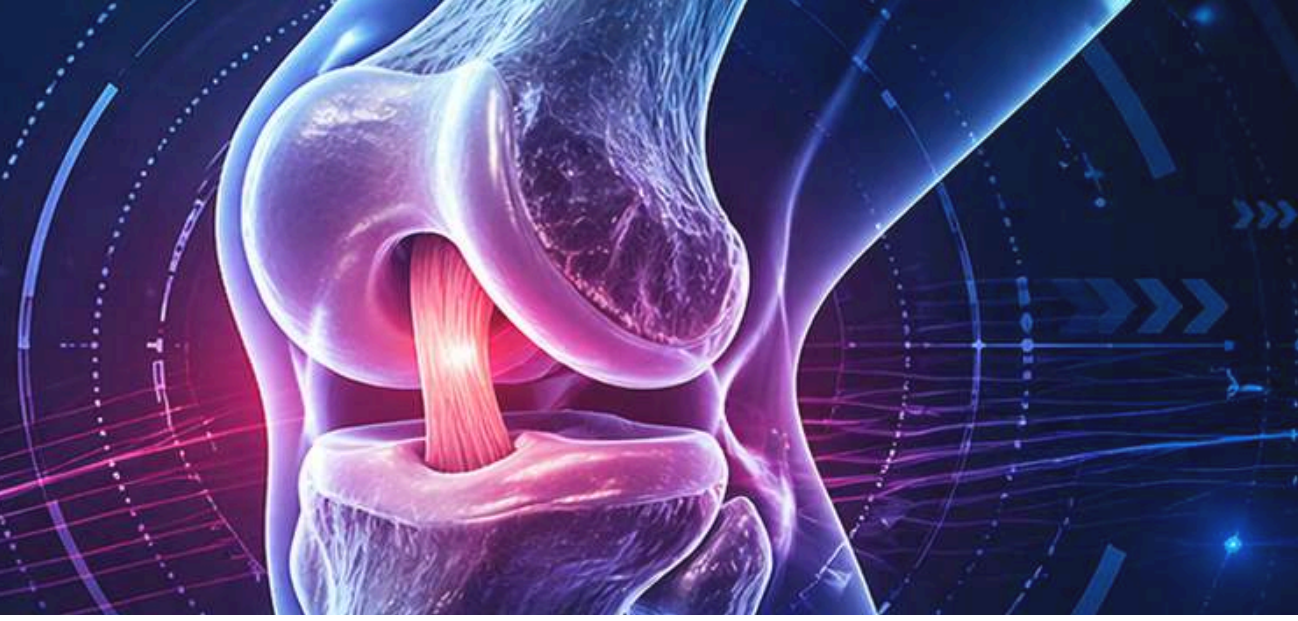
Estocada hacia adelante



Indicaciones

Da un paso hacia adelante y flexiona ambas rodillas hasta 90°. Mantén el tronco erguido, el core activado y la rodilla alineada con el pie.

Capítulo 4



Estación 2: 40 seg / 3 series

Bosu unipodal con sentadilla sostenida



Indicaciones

Sobre un solo pie en el BOSU, realiza una sentadilla parcial y mantén la posición algunos segundos. Conserva el equilibrio, el core activado y la rodilla alineada con el pie.

Puente bilateral sobre fitball



Indicaciones

Con los talones apoyados sobre el fitball, eleva la pelvis hasta alinear hombros, cadera y rodillas. Mantén el core activado y desciende de forma controlada.

Estación 3: 40 seg / 3 series

Zancadas en bosu



Indicaciones

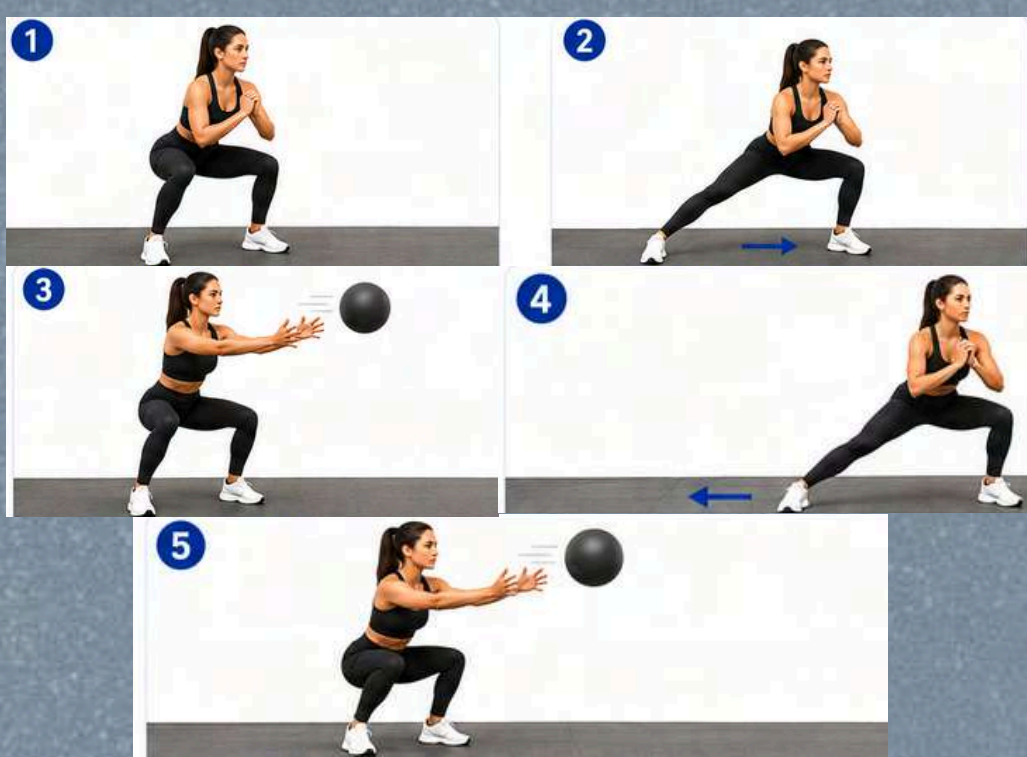
Con un pie sobre el BOSU y el otro atrás, desciende de forma controlada flexionando ambas rodillas. Mantén el core activado, el equilibrio y la rodilla alineada con el pie.

Capítulo 4

Sesión 6

Estación 1: 40 seg / 3 series

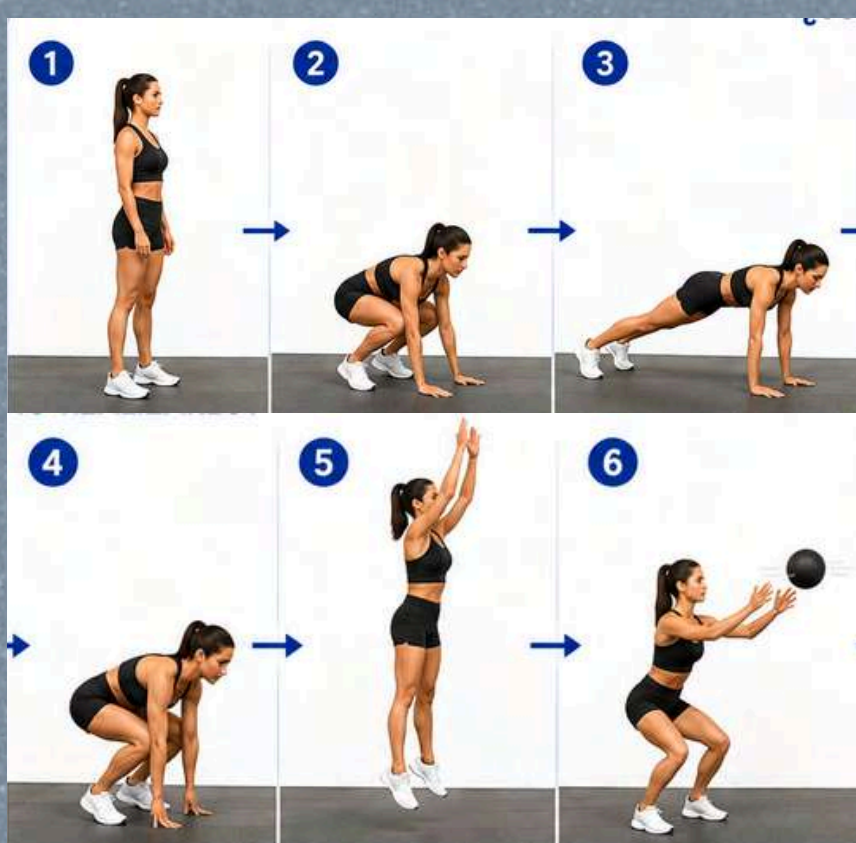
Desplazamiento lateral en sentadilla con recepción de balón



Indicaciones

Desplázate lateralmente en posición de sentadilla mientras recibes el balón a la altura del pecho. Mantén el core activado, las rodillas alineadas y el equilibrio durante todo el movimiento.

Burpees con recepción de balón



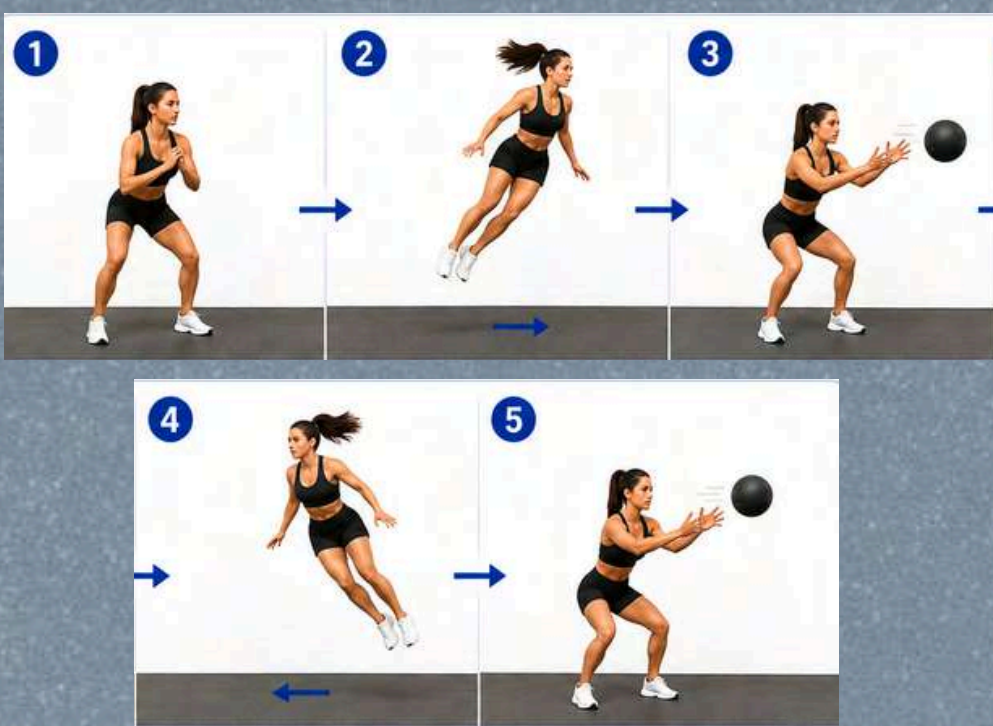
Indicaciones

Realiza un burpee y finaliza con un salto vertical recibiendo el balón al aterrizar. Mantén el core activado y amortigua el impacto con rodillas semiflexionadas.

Capítulo 4

Estación 2: 40 seg / 3 series

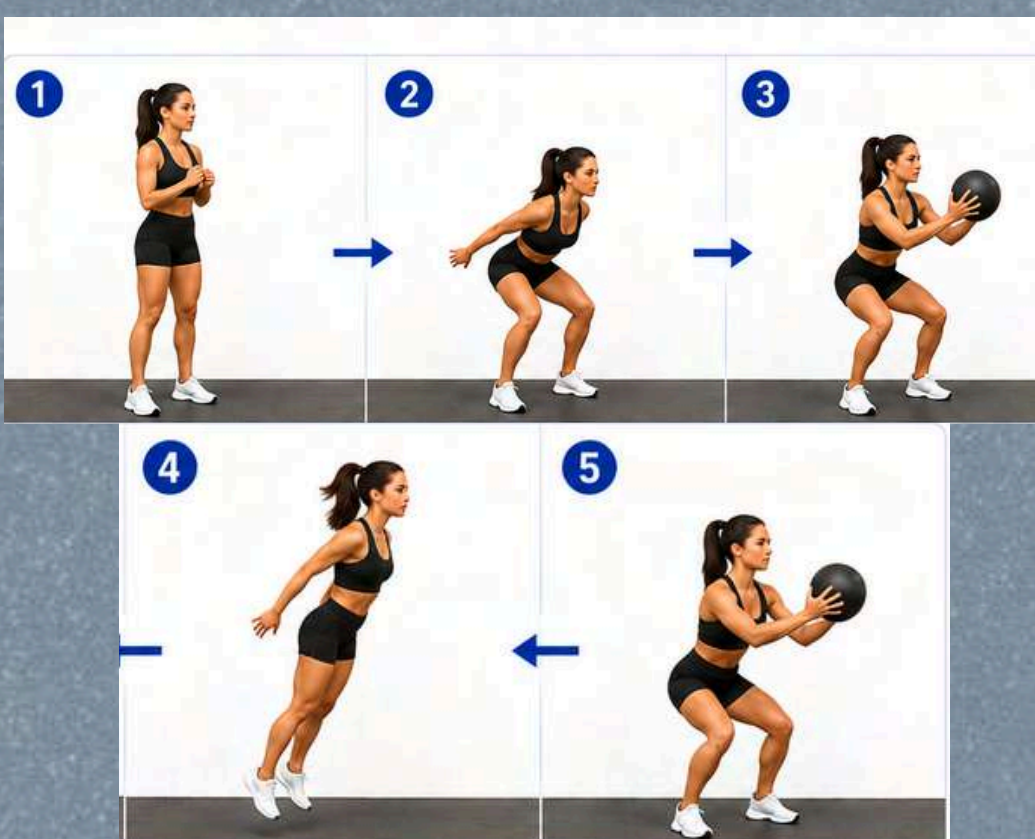
Saltos laterales bipodales con recepción de pelota



Indicaciones

Realiza saltos laterales con ambos pies y recibe la pelota al aterrizar. Mantén el core activado y amortigua el impacto con rodillas semiflexionadas.

Saltos con recepción de pelota



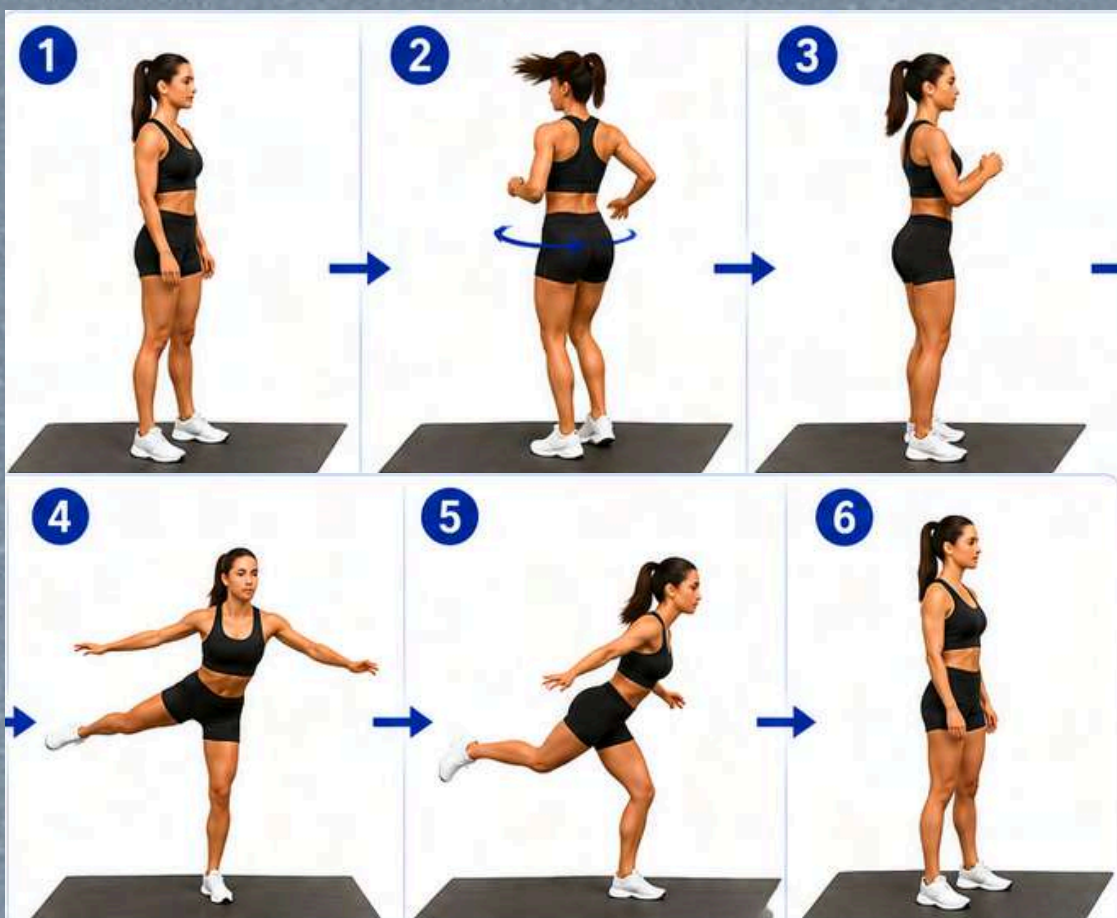
Indicaciones

Realiza saltos hacia adelante y atrás con ambos pies, recibiendo la pelota al aterrizar. Mantén el core activado y amortigua el impacto con rodillas semiflexionadas.

Capítulo 4

Estación 3: 40 seg / 3 series

180° giro y alcances con miembro inferior



Indicaciones

Realiza un giro de 180° manteniendo el equilibrio y luego ejecuta alcances con la pierna libre hacia diferentes direcciones, manteniendo el tronco estable y la rodilla semiflexionada.

Zancadas en bosu



Indicaciones

Con un pie sobre el BOSU y el otro atrás, desciende flexionando ambas rodillas de forma controlada. Mantén el tronco estable y la rodilla alineada con el pie durante todo el movimiento.

Capítulo 4

Sesión 7

Estación 1: 40 seg / 3 series

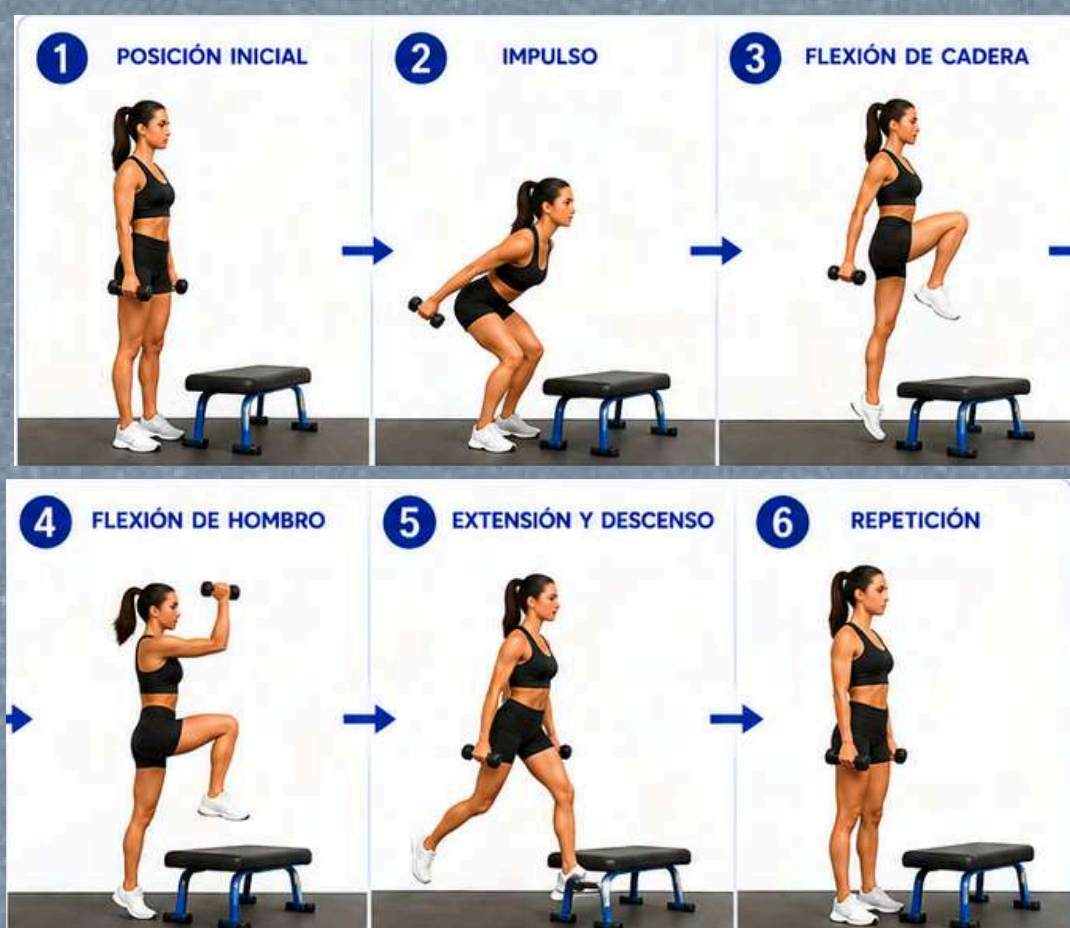
Ejercicios de carrera



Indicaciones

Realiza ejercicios dinámicos de carrera con postura erguida, core activado y movimientos coordinados de brazos y piernas, manteniendo una ejecución rápida y controlada.

Ejercicio pliométrico



Indicaciones

Frente a un banco de 20 cm, eleva una rodilla de forma explosiva mientras llevas los brazos al frente y arriba. Desciende controladamente y alterna las piernas manteniendo el tronco estable.

Capítulo 4

Estación 2: 40 seg / 3 series

Ejercicios explosivos (Skipping - Burpees)



Indicaciones

Realiza movimientos rápidos y potentes como skipping y burpees, manteniendo el core activado y aterrizando con rodillas semiflexionadas para absorber el impacto.

Lunge con salto



Indicaciones

Desde una posición de zancada, realiza un salto explosivo cambiando las piernas en el aire. Aterrizas suavemente con rodillas semiflexionadas y mantén el tronco estable durante todo el movimiento.

Capítulo 4

Estación 3: 40 seg / 3 series

Lateral hops



Indicaciones

Sobre una sola pierna, realiza saltos laterales de un lado a otro aterrizando sobre la misma pierna. Mantén la rodilla alineada, el core activado y el equilibrio durante todo el ejercicio.

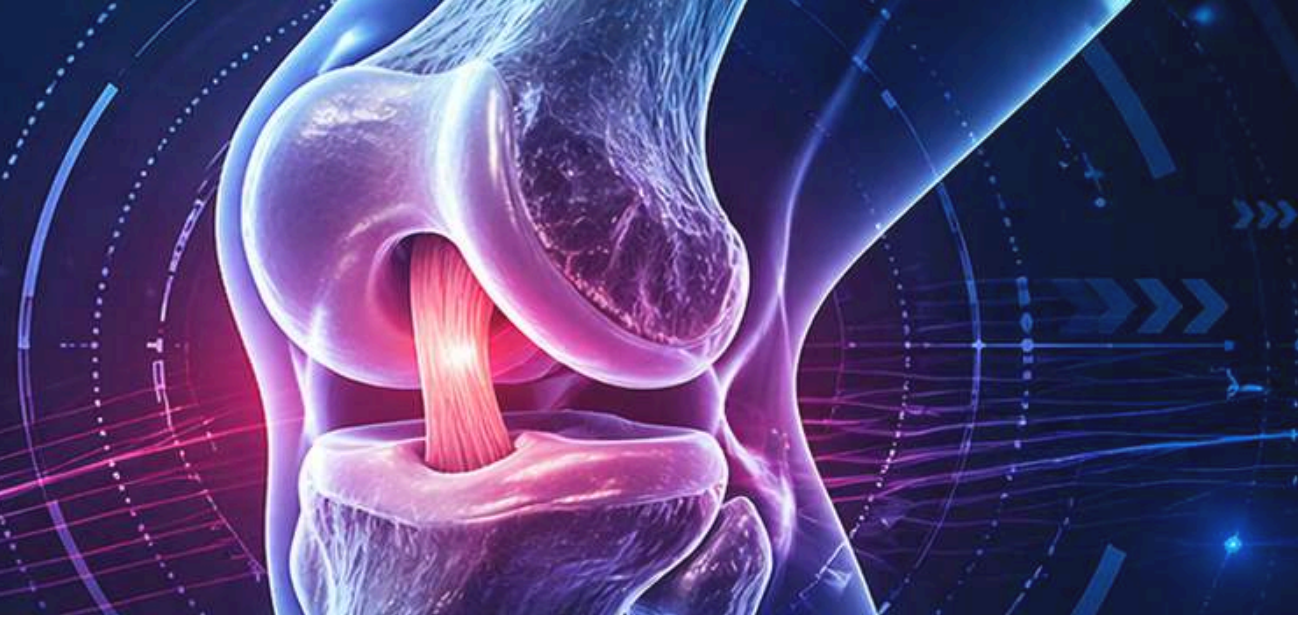
Ejercicios pliométricos de rodilla y cadera



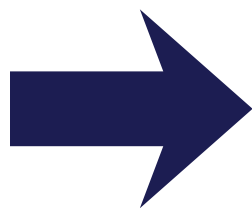
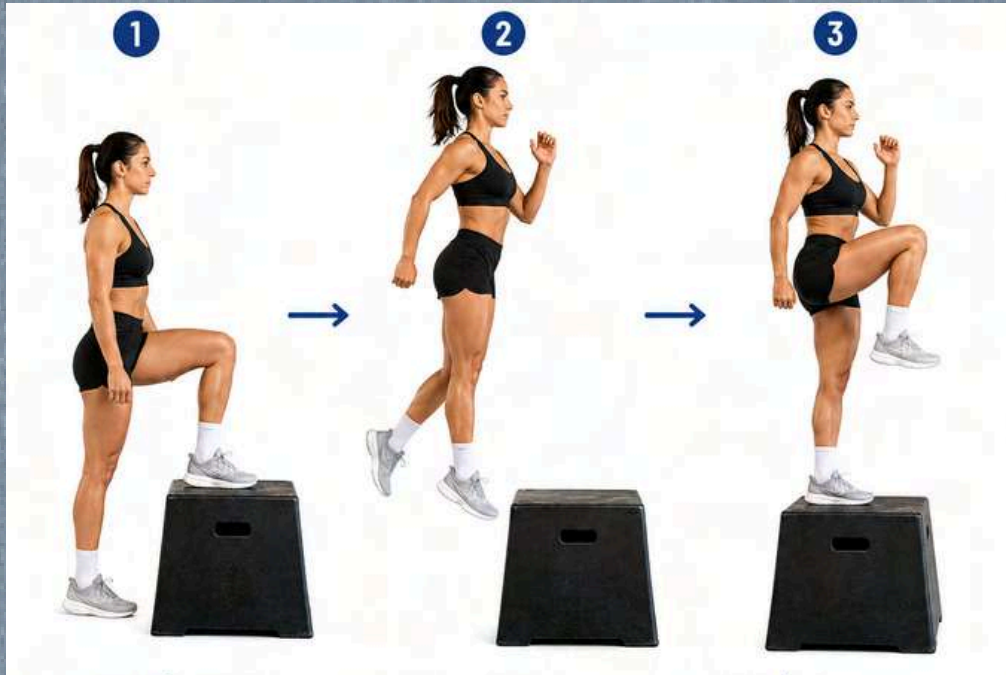
Indicaciones

De pie sobre un cajón con una sola pierna, realiza un impulso explosivo para saltar hacia adelante superando el obstáculo. Aterrizas sobre la misma pierna flexionando rodilla y cadera, manteniendo el equilibrio y el control durante todo el movimiento.

Capítulo 4



Saltos unipodales sobre cajón con flexión de cadera



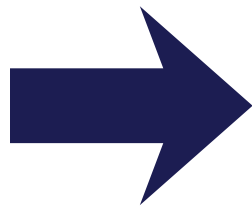
Indicaciones

Con un pie apoyado sobre el cajón, realiza un salto unipodal y estabiliza el cuerpo al aterrizar. Luego eleva la rodilla hacia el pecho realizando flexión de cadera, manteniendo el equilibrio y el core activado.

Sesión 8

Estación 1: 40 seg / 3 series

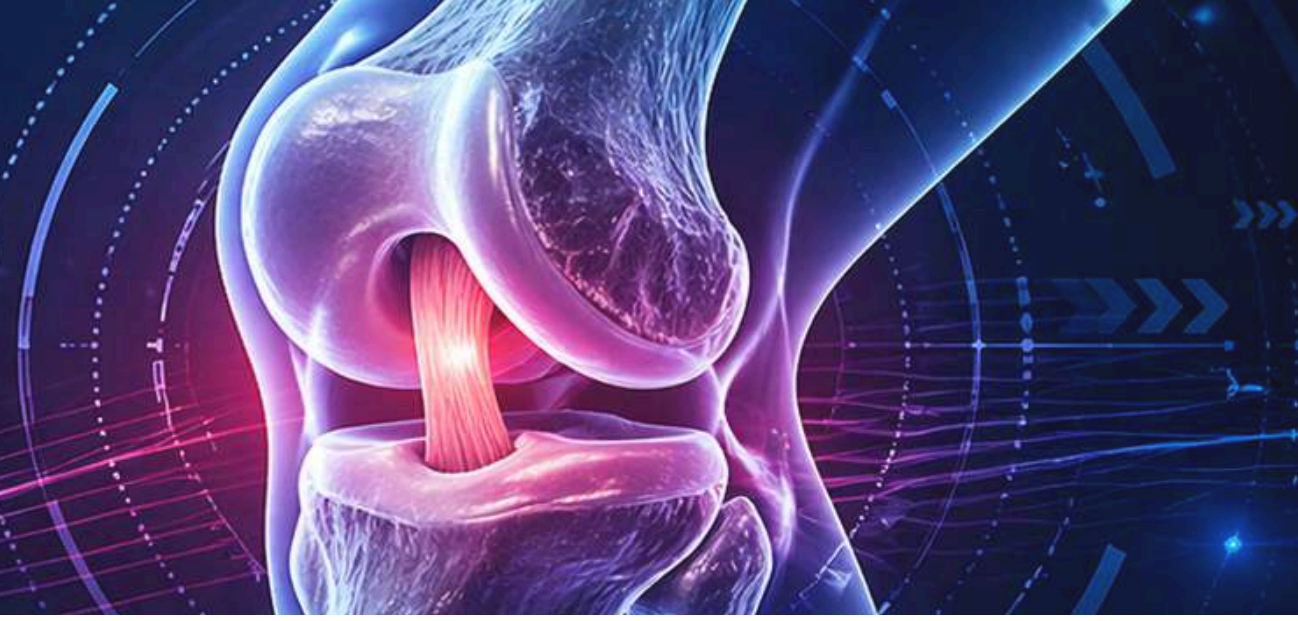
Speed drills sobre step



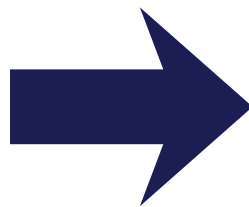
Indicaciones

Sube y baja rápidamente del step alternando los pies. Mantén el core activado, la postura estable y movimientos rápidos y coordinados.

Capítulo 4



Single rapid scissors

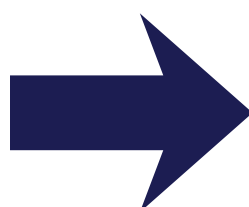


Indicaciones

Desde una posición de zancada, alterna rápidamente las piernas realizando pequeños saltos. Mantén el core activado, el tronco estable y aterriza suavemente con rodillas semiflexionadas

Estación 2: 40 seg / 3 series

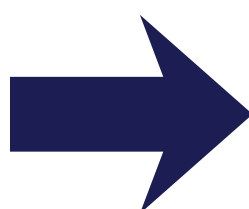
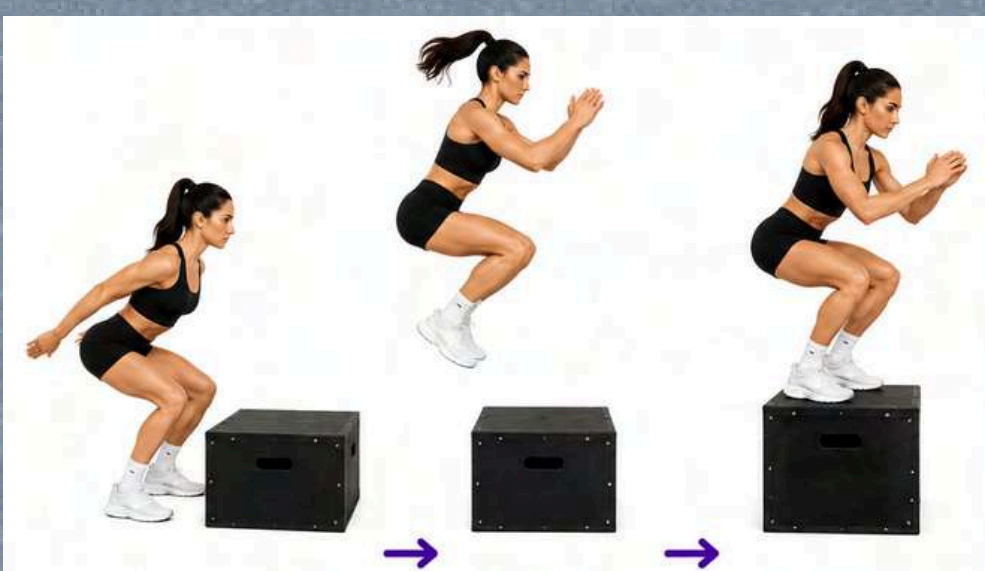
Step Up sobre cajón



Indicaciones

Sube al cajón impulsándote con una pierna hasta quedar de pie sobre la superficie. Mantén el tronco estable, el core activado y desciende de forma controlada

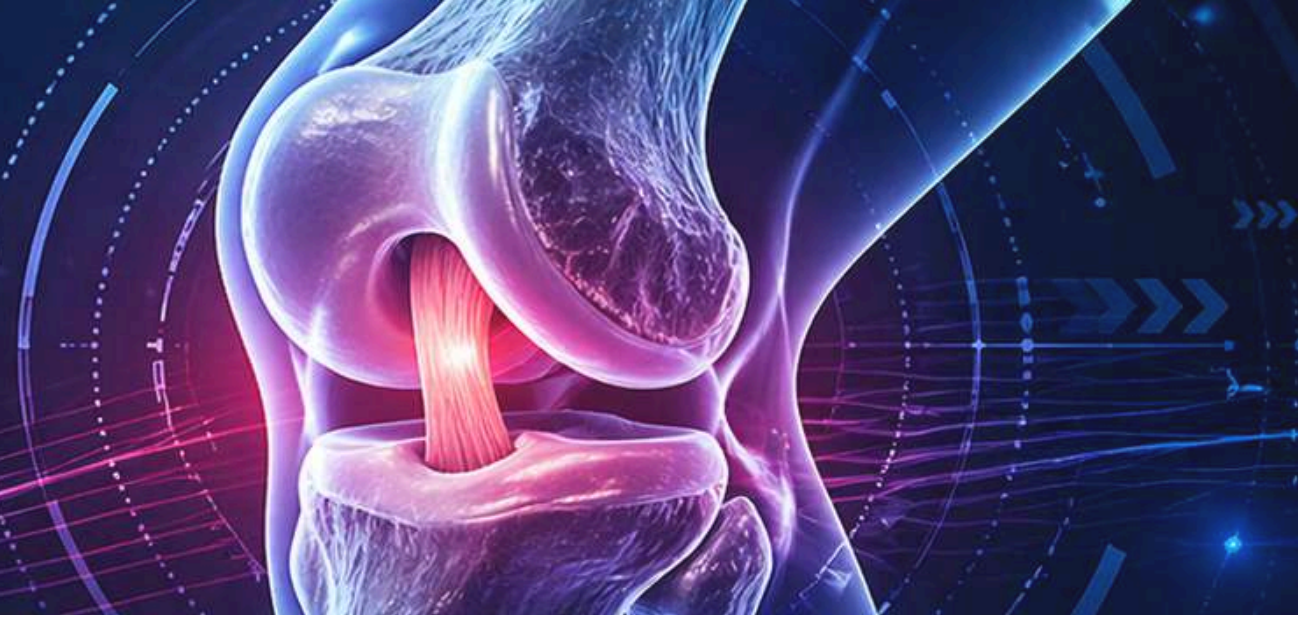
Box jump (apoyo bipodal)



Indicaciones

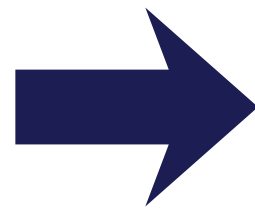
Frente al cajón, flexiona rodillas y caderas para impulsarte y saltar con ambos pies. Aterriza suavemente sobre el cajón con rodillas semiflexionadas y mantén el equilibrio.

Capítulo 4



Estación 3: 40 seg / 3 series

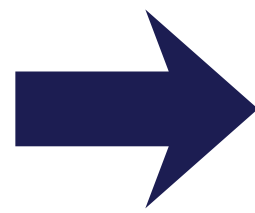
Ejercicio en apoyo monopodal



Indicaciones

Sobre una base inestable y en apoyo con una sola pierna, inclina el tronco hacia adelante elevando la pierna libre hacia atrás y los brazos en forma de "Y". Mantén el equilibrio, el core activado y regresa de forma controlada.

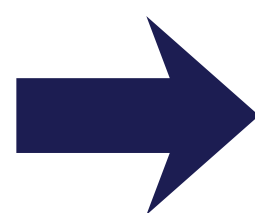
Tuck Jump



Indicaciones

Realiza un salto vertical llevando las rodillas hacia el pecho. Aterriza suavemente con ambos pies, manteniendo el core activado y las rodillas semiflexionadas.

Speed skater sobre discos



Indicaciones

Deslízate lateralmente sobre los discos alternando el apoyo de las piernas. Mantén el tronco ligeramente inclinado, el core activado y el equilibrio durante todo el movimiento.

Referencias

1. Chia L, McKay MJ, Sullivan J, Pappas E, De Oliveira Silva D, Whalan M, et al. Non-contact Anterior Cruciate Ligament Injury Epidemiology in Team-Ball Sports: A Systematic Review with Meta-analysis by Sex, Age, Sport, Participation Level, and Exposure Type. *Sports Medicine* [Internet]. 2022 Oct 1 [cited 2026 May 20];52(10):2447–67. Available from: <https://research-ebSCO-com.ez.urosario.edu.co/linkprocessor/plink?id=c5d2932a-8cf0-3ca5-9f8f-5b736f82336a>
2. Yoo H, Marappa-Ganeshan R. Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Knee Anterior Cruciate Ligament. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. [Updated 2023 Jul 24]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559233>
3. Yahagi Y, Horaguchi T, Iriuchishima T, Suruga M, Iwama G, Aizawa S. Correlation between the mid-substance cross-sectional anterior cruciate ligament size and the knee osseous morphology. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2020 Feb;30(2):291-296.
4. Domnick C, Raschke MJ, Herbort M. Biomechanics of the anterior cruciate ligament: Physiology, rupture and reconstruction techniques. *World J Orthop*. 2016 Feb 18;7(2):82-93.
5. Herbort M, Lenschow S, Fu FH, Petersen W, Zantop T. ACL mismatch reconstructions: influence of different tunnel placement strategies in single-bundle ACL reconstructions on the knee kinematics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010 Nov;18(11):1551-8
6. Marieswaran M, Jain I, Garg B, Sharma V, Kalyanasundaram D. A Review on Biomechanics of Anterior Cruciate Ligament and Materials for Reconstruction. *Appl Bionics Biomech*. 2018;2018:4657824.
7. Taborri, J., Molinaro, L., Santospagnuolo, A., Vetrano, M., Vulpiani, M. C., & Rossi, S. (2021). A Machine-Learning Approach to Measure the Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Basketball Players. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(9), 3141. <https://doi.org/10.3390/s21093141>
8. Prodromos, C. C., Han, Y., Rogowski, J., Joyce, B., & Shi, K. (2007). A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 23(12), 1320–1325.e6. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2007.07.003>
9. Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Paterno, M. V., & Quatman, C. E. (2016). Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: Cut risk with three sharpened and validated tools. *Journal of orthopedic research: official publication of the Orthopedic Research Society*, 34(11), 1843–1855. <https://doi.org/10.1002/jor.23414>

Referencias

13. Hewett, T. E., Torg, J. S., & Boden, B. P. (2009). Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. *British journal of sports medicine*, 43(6), 417–422. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.059162>
14. Bates, N. A., & Hewett, T. E. (2016). Motion Analysis and the Anterior Cruciate Ligament: Classification of Injury Risk. *Journal of knee surgery*, 29(2), 117–125. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1558855>
15. Ueno, R., Navacchia, A., Schilaty, N. D., Myer, G. D., Hewett, T. E., & Bates, N. A. (2021). Hamstrings Contraction Regulates the Magnitude and Timing of the Peak ACL Loading During the Drop Vertical Jump in Female Athletes. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 9(9), 23259671211034487. <https://doi.org/10.1177/23259671211034487>
16. Padua, D. A., Marshall, S. W., Boling, M. C., Thigpen, C. A., Garrett, W. E., Jr, & Beutler, A. I. (2009). The Landing Error Scoring System (LESS) Is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. *The American journal of sports medicine*, 37(10), 1996–2002. <https://doi.org/10.1177/0363546509343200>
17. Kacprzak B, Stańczak M, Surmacz J, Hagner-Derengowska M. Biophysics of ACL Injuries. *Orthop Rev (Pavia)*. 2024 Dec 7;16:126041. doi: 10.52965/001c.126041. PMID: 39911284; PMCID: PMC11798646.
18. Boden BP, Sheehan FT. Mechanism of non-contact ACL injury: OREF Clinical Research Award 2021. *J Orthop Res*. 2022;40(3):531-540. doi: 10.1002/jor.25257.
19. Bae BS, Yoo S, Lee SH. Ramp lesion in anterior cruciate ligament injury: a review of the anatomy, biomechanics, epidemiology, and diagnosis. *Knee Surg Relat Res [Internet]*. 2023 Aug 25;35(1):23. doi: 10.1186/s43019-023-00197-z. PMID: 37626385. PMCID: PMC10464050. Available from: <https://pmc-ncbi-nlm-nih-gov.ez.urosario.edu.co/articles/PMC10464050>
20. Dai B, Mao M, Garrett WE, Yu B. Biomechanical characteristics of an anterior cruciate ligament injury in javelin throwing. *Journal of Sport and Health Science*. 2015; 4: 333-340. <https://www-sciencedirect-com.ez.urosario.edu.co/science/article/pii/S209525>
21. Dargel J, Gotter M, Mader K, Pennig D, Koebeke J, Schmidt-Wiethoff R. Biomechanics of the anterior cruciate ligament and implications for surgical reconstruction. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2007 Apr;2(1):1-12. doi: 10.1007/s11751-007-0016-6. PMID: 18427909; PMCID: PMC2321720.

Referencias

22. Sasaki S, Tsuda E, Yamamoto Y, Maeda S, Kimura Y, Fujita Y, Ishibashi Y. Core-Muscle Training and Neuromuscular Control of the Lower Limb and Trunk. *J Athl Train*. 2019 Sep;54(9):959-969. doi:10.4085/1062-6050-113-17. PMID:31386583.
23. Chia L, McKay MJ, Sullivan J, Pappas E, De Oliveira Silva D, Whalan M, et al. Non-contact Anterior Cruciate Ligament Injury Epidemiology in Team-Ball Sports: A Systematic Review with Meta-analysis by Sex, Age, Sport, Participation Level, and Exposure Type. *Sports Medicine [Internet]*. 2022 Oct 1 [cited 2026 Feb 3];52(10):2447–67. Available from: <https://research-ebsco-com.ez.urosario.edu.co/linkprocessor/plink?id=c5d2932a-8cf0-3ca5-9f8f-5b736f82336a>
24. Rivera-Rujana Diana María, Villaquirán-Hurtado Andrés, Vernaza-Pinzón Paola, Portilla-Dorado Enmanuel. Control postural estático y estabilidad de la región lumbo-pélvica en deportistas de alto rendimiento. *Rev. Cienc. Salud [Internet]*. 2024 Dec [cited 2026 Apr 03] ; 22(3): a12106. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-72732024000300004&lng=en. Epub Sep 06, 2024. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.12106>.
25. Zemková E, Zapletalová L. The Role of Neuromuscular Control of Postural and Core Stability in Functional Movement and Athlete Performance. *Front Physiol*. 2022 Feb 24;13:796097. doi: 10.3389/fphys.2022.796097. PMID: 35283763; PMCID: PMC8909639