



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

Revisión Sistemática: La Influencia de las Hormonas Sexuales Femeninas en el Riesgo de Lesión de Ligamento Cruzado Anterior en Deportistas.

The Influence of Female Sex Hormones on the Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury in Athletes. A Systematic Review

Autora:

Inés Sanmartín Arbones

Director:

Alfredo Rodríguez León

Grado en Medicina

FACULTAD DE MEDICINA

2024 - 2025

Resumen:

La lesión del ligamento cruzado anterior posee gran importancia en el ámbito deportivo por su gravedad y frecuencia. Dentro de los deportistas, el riesgo en mujeres es mayor que en hombres. Aunque la causa de esta diferencia de riesgo se ha atribuido, en parte, a factores anatómicos, en las últimas décadas se ha especulado que pueda existir un factor hormonal. Esta revisión se centra en ese factor de riesgo hormonal.

El objetivo es revisar la literatura de los últimos 10 años en la que se estudia la relación entre hormonas femeninas y riesgo de lesión de LCA.

Se analizaron 10 trabajos en los que se ha estudiado la estabilidad de la rodilla en deportistas en relación a la exposición a distintas hormonas: ocho midieron la estabilidad articular en distintos momentos del ciclo menstrual y dos la midieron en relación a la concentración sérica de relaxina y uso de anticonceptivos hormonales, respectivamente.

La limitada calidad de los estudios revisados, así como su heterogeneidad en cuanto a diseño y conclusiones, impiden identificar una fase del ciclo menstrual dónde el riesgo de lesión de LCA sea mayor. Sin embargo, ponen en evidencia la necesidad de investigación en este área y suponen buen punto de partida preliminar.

Abstract:

Anterior Cruciate Ligament tear is an injury of great importance in the sports field, due to its seriousness and incidence. Amongst athletes, females are at higher risk than males. The cause of this difference in risk has been partly attributed to anatomical factors. However, in recent decades it has been speculated that female sex hormones could be involved. This review centers on said hormonal risk factor. Our objective is to review the literature of the past decade where ACL injury risk is assessed in relation to sex hormone exposure. 10 registers were reviewed, 8 of which assessed the risk of injury in different phases of the menstrual cycle; whereas two studied knee stability in relation to serum relaxin concentration and oral contraceptive use, respectively.

Limited quality of the studies reviewed, as well as their heterogeneous designs and conclusions, make it impossible to draw any firm conclusions from this review regarding which phase of the menstrual cycle has a higher risk of ACL injury. However, the review highlights the need for further investigations and establishes valid preliminar evidence.

Índice

| | |
|---|-----------|
| Resumen: | 2 |
| 1. Introducción | 4 |
| 1.1 La lesión de LCA y el deporte femenino..... | 4 |
| 1.2 El ciclo menstrual:..... | 5 |
| 1.3 LCA: anatomía y mecanismo de lesión..... | 7 |
| 2. Metodología | 9 |
| 2.1 Criterios de inclusión:..... | 9 |
| 2.2 Criterios de exclusión:..... | 10 |
| 3. Resultados | 11 |
| 3.1 Estudios incluidos:..... | 13 |
| Estudio 1..... | 13 |
| Estudio 2..... | 13 |
| Estudio 3..... | 14 |
| Estudio 4..... | 15 |
| Estudio 5..... | 15 |
| Estudio 6..... | 16 |
| Estudio 7..... | 16 |
| Estudio 8..... | 17 |
| Estudio 9..... | 17 |
| Estudio 10..... | 17 |
| 3.2 Clasificación de los estudios según sus conclusiones..... | 18 |
| Estudios que atribuyen mayor riesgo a la fase folicular..... | 18 |
| Estudios que atribuyen mayor riesgo a la fase lútea..... | 18 |
| Otros resultados:..... | 18 |
| 3.3 Riesgo de sesgo de los estudios seleccionados..... | 19 |
| 4. Discusión | 20 |
| 4.1 Parámetros medidos..... | 20 |
| Valgo de rodilla:..... | 20 |
| Aceleración tibial:..... | 21 |
| Fuerza isocinética de flexores y extensores:..... | 21 |
| Razón H/Q:..... | 22 |
| Rango funcional..... | 22 |
| 4.2 Limitaciones de la revisión:..... | 24 |
| 5. Conclusiones | 25 |
| 6. Bibliografía: | 26 |
| 7. Anexos | 30 |
| 7.1 Anexo 1: Tabla resumen de los estudios incluidos en la revisión..... | 30 |
| 7.2 Anexo 2: Tabla resumen de las conclusiones de los estudios revisados..... | 32 |
| 7.3 Anexo 3: Tabla de riesgo de sesgo por estudio y por dominios del sesgo..... | 33 |

1. Introducción

1.1 La lesión de LCA y el deporte femenino

La lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) posee gran importancia en el ámbito deportivo, con una incidencia significativamente mayor en mujeres que en hombres. Las tasas de incidencia varían según el deporte practicado, siendo especialmente elevadas en disciplinas que requieren constantes movimientos de pivotaje y aterrizaje. En dichos casos la tasa de lesión en mujeres puede ser de 4 a 6 veces superior a la de los hombres (1)

En cuanto al riesgo de ruptura del LCA podemos diferenciar factores de riesgo extrínsecos e intrínsecos. Entre los factores extrínsecos podemos destacar, además del deporte practicado, la superficie de contacto del calzado y las condiciones meteorológicas adversas, que también han demostrado influir en la incidencia de lesión. (2)

En relación a los factores intrínsecos, se conocen factores de riesgo intrínsecos al deportista: los déficits de fuerza muscular en los abductores de cadera y extensores de rodilla se han asociado con un mayor riesgo de lesión, así como la existencia de asimetría entre ambas extremidades y un índice de masa corporal elevado. (3)

Continuando el análisis de los factores de lesión intrínsecos, uno de los más importante es el sexo. Las mujeres, al tener una pelvis más ancha, presentan un ángulo Q mayor y consecuentemente, una alineación de la rodilla que las predispone a lesión de la misma. Además, presentan una mayor laxitud articular y diferencias en la activación neuromuscular que pueden predisponer a sufrir esta lesión (4)

En las últimas décadas ha surgido interés en el papel que las hormonas femeninas puedan tener en la estabilidad articular y el riesgo de lesión del LCA. Se ha sugerido que las fluctuaciones hormonales propias del ciclo menstrual podrían influir en la laxitud ligamentaria o la fuerza muscular, incrementando el riesgo de lesión de LCA en ciertos momentos del ciclo.(5) Asimismo, se ha especulado sobre el papel protector que los anticonceptivos hormonales podrían desempeñar.(6) Esta revisión se centra en este factor de riesgo hormonal.

La lesión de LCA puede tener un gran impacto negativo en la carrera de una deportista: requiere bajas deportivas prolongadas y muchas veces supone el abandono definitivo de la competición, sobre todo entre mujeres. (7) Incluso tras una vuelta al deporte satisfactoria, la ruptura del ligamento contralateral es más frecuente entre deportistas femeninas que en atletas masculinos. (8)

La frecuencia de la lesión, sumada al hecho de que un elevado porcentaje de las atletas profesionales están en edad menstrual, justifica la necesidad de investigación sobre la relación entre riesgo de lesión y ciclo. A pesar de ello, la literatura centrada en deportistas femeninas es escasa. El objetivo de esta revisión es recopilar la evidencia de la última década sobre el efecto de las hormonas femeninas en la estabilidad de la articulación de la rodilla, y su posible relación con una mayor incidencia de lesión de ligamento cruzado anterior en ciertas fases del ciclo menstrual.

1.2 El ciclo menstrual:

El ciclo menstrual y las fluctuaciones hormonales propias del mismo son uno de los dos puntos focales de esta revisión. Tiene una duración aproximada de 28 días y sus fases son tres: folicular, ovulatoria y lútea. Durante ellas, se produce una compleja secuencia de interacciones hormonales.

La fase folicular comprende de los días 1 a 13 y la fase menstrual, que es parte de ella, comprende los primeros días del ciclo. Al inicio de un ciclo, la GnRH es secretada en el hipotálamo en pulsos breves y de poca amplitud, lo cual estimula la producción hipofisaria de FSH. La FSH tiene un leve pico al inicio del ciclo, que favorece el desarrollo de los folículos primordiales y la proliferación de las células de la granulosa dentro de los mismos. Estas mismas células son las que comienzan a producir estrógenos, cuyos niveles irán aumentando progresivamente, inhibiendo la producción de FSH por feedback negativo. Sólo el folículo dominante, que tiene mayor sensibilidad a FSH, seguirá proliferando a pesar de la caída de los niveles de FSH. (9)

La fase ovulatoria ocurre en torno al día 14. El aumento sostenido de estrógenos induce un pico brusco de LH, y uno menor de FSH, que provocan la ruptura del folículo dominante y la liberación del ovocito.

La fase lútea comprende los últimos 14 días del ciclo. En ella, las células de la granulosa del remanente del folículo dominante se luteinizan y secretan progesterona, que será la hormona predominante en esta fase; preparando el endometrio para una posible implantación. Por otra parte, los estrógenos alcanzan un segundo pico, menor que aquel de la fase folicular, pero suficiente para mantener el feedback negativo sobre la FSH. Al final de la fase, si la implantación no ha ocurrido, los niveles hormonales caen de nuevo para dar lugar a un nuevo ciclo. (9)

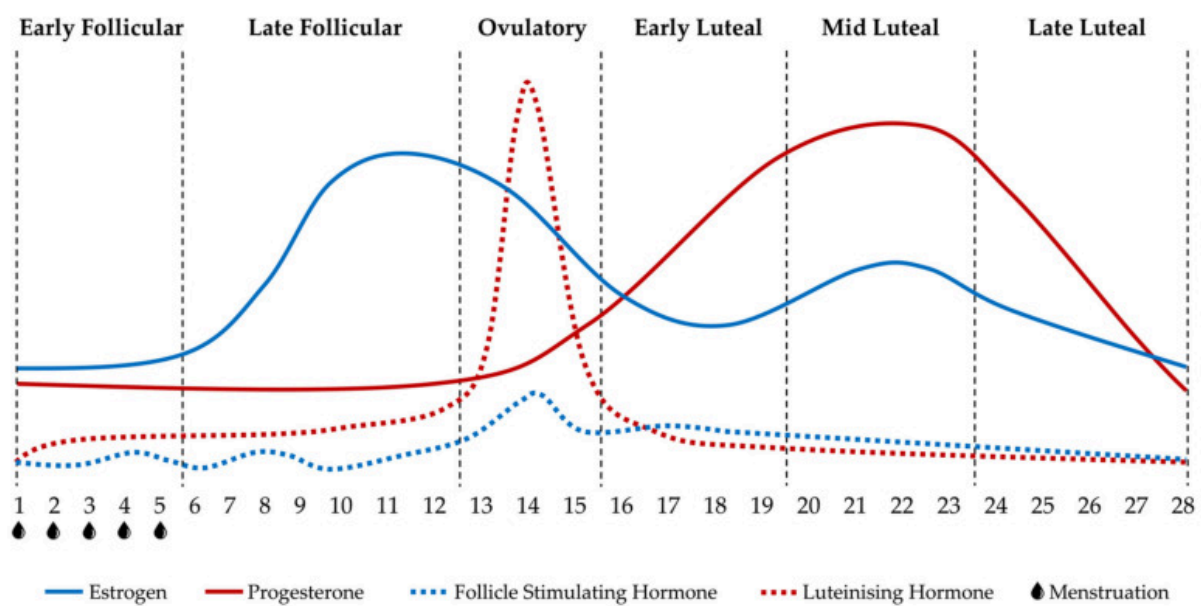


Figura 1.1: tabla relación hormonas/ciclo (10)

Además de estrógenos, progesterona, LH y FSH, se producen en el contexto del ciclo menstrual otras hormonas, cuyas concentraciones en plasma dependen de aquellas de las hormonas sexuales y son, por tanto, susceptibles de variar a lo largo del ciclo o con el tratamiento anticonceptivo. Una de estas hormonas es la relaxina. Esta hormona es un péptido con estructura similar a la insulina. Es producida principalmente por el cuerpo lúteo, aunque también por el propio útero o la placenta durante el embarazo.

En la función de reproducción, produce la proliferación de vasos y tejido endometrial. Fuera del aparato reproductor, tiene un efecto sobre el remodelado de los tejidos ricos en colágeno. Múltiples estudios han relacionado concentraciones elevadas de relaxina con mayor laxitud ligamentosa y menor resistencia a cargas. (11)

En cuanto a niveles en sangre, son detectables a lo largo de todo el ciclo, siendo ligeramente más elevados durante la fase lútea. La variabilidad de la relaxina, sin embargo, no es tanto cíclica como interpersonal, siendo los niveles séricos variables entre mujeres, con diferencias estadísticamente significativas entre usuarias de anticonceptivos orales y no usuarias. (12)

1.3 LCA: anatomía y mecanismo de lesión

El ligamento cruzado anterior es un ligamento intraarticular de la rodilla, que se inserta en el área anteromedial del platillo tibial y la cara interna del cóndilo lateral del fémur, siguiendo un trayecto oblicuo. Su estructura, al igual que la del ligamento cruzado posterior, es “cordonal”, lo cual condiciona la retracción de los extremos tras su ruptura, imposibilitando que se restaure la continuidad y obligando a un tratamiento quirúrgico.

Se han descrito dos fascículos funcionales del LCA, cada uno de los cuales trabaja en mayor o menor medida según el ángulo de flexión de la rodilla. Reciben su nombre por la posición de su inserción tibial. El fascículo anteromedial se tensa en flexión, el posterolateral se tensa en extensión y ambos se tensan al máximo en extensión y rotación interna.

Esto explica que los movimientos bruscos de extensión y rotación interna sean el mecanismo principal de rotura completa de LCA. Se justifica también la existencia de roturas parciales, en las que solo uno de los fascículos se afecta. Este tipo de roturas alteran la dinámica de la rodilla solo en la posición en la que el fascículo lesionado está tenso, sin causar inestabilidad rotacional.

La función del LCA, junto con el resto de ligamentos y cartílagos de la rodilla, es conferir estabilidad a la articulación y conseguir un movimiento armonioso. Así, evita la traslación anterior de la tibia respecto al fémur y confiere estabilidad rotacional. Una sección completa del LCA provoca inestabilidad rotacional (“Pivot shift” positivo) y traslación anterior de la tibia

tanto en flexión (cajón anterior positivo) como en extensión (maniobra de Lachman positiva).
(13)

La ruptura del ligamento cruzado anterior puede ocurrir mediante dos mecanismos principales: por contacto directo o sin contacto. Este trabajo se centra en el segundo mecanismo, más frecuente, especialmente entre deportistas femeninas y en los deportes de mayor prevalencia. Además, el mecanismo de lesión indirecta está en relación con cambios en la dinámica de la rodilla, la cual está a su vez potencialmente afectada por los cambios hormonales del ciclo.

La lesión ocurre generalmente durante movimientos de deceleración, pivotaje o aterrizaje, que implican un movimiento de rotación interna y extensión de la rodilla. Es en esta posición cuando se alcanza la máxima tensión del LCA.

Aunque el movimiento de valgo forzado se ha considerado clásicamente un mecanismo principal de lesión, estudios recientes los posicionan como un factor secundario: el valgo forzado de rodilla expone a la articulación a una posición desfavorable para absorber fuerzas de compresión axial, que sería el mecanismo principal. (14)

2. Metodología

En la realización de esta revisión se utilizó el protocolo PRISMA, con intención de mejorar su calidad y transparencia.

- Fuentes: Se realizó la búsqueda en las bases de datos Medline, Scopus y Web of Science y en el registro Cochrane, en enero de 2025.
- Fórmula de búsqueda: Se introduce la fórmula de búsqueda: ("female athletes" OR sport) AND ("menstrual cycle" OR " sex hormon*" OR relaxin OR estradiol OR estrogen OR progesterone) AND ("anterior cruciate ligament injury" OR "ACL injury" OR "knee ligament injury")
- Tipo de estudio: Estudios observacionales analíticos (casos y controles y cohortes), estudios observacionales descriptivos y ensayos clínicos.
- Fecha de publicación: se seleccionaron estudios publicados en los últimos 10 años (2015-2025)

2.1 Criterios de inclusión:

Para incluir un estudio en la revisión, además de tener el diseño adecuado, debía cumplir los siguientes criterios en cuanto a la población de la cual se obtenía la muestra y a las variables que se estudiaban:

- Población estudiada: Deportistas femeninas a nivel competitivo y en edad menstrual.
- Variables estudiadas:
 - Estudios que miden estabilidad de la articulación de la rodilla (laxitud ligamentosa o fuerza muscular) según niveles de LH, estrógenos y progesterona (determinados directa o indirectamente)
 - Estudios que valoran incidencia de lesión de LCA según fase del ciclo menstrual
 - Estudios que relacionan niveles de relaxina y estabilidad de rodilla.

2.2 Criterios de exclusión:

- Muestra no válida: las participantes son deportistas a nivel recreacional o sujetos normalmente activos y no deportistas a nivel competitivo.
- Estudios centrados en segunda lesión de LCA.
- Estudios que no excluyen participantes anovulatorias.
- Estudios que miden variables no relacionadas con mayor riesgo de lesión de LCA.

3. Resultados

La búsqueda arrojó 80 resultados , de los cuales 14 fueron eliminados por ser duplicados. Se realizó un cribado por abstract de los 66 artículos, en el cual 51 de ellos fueron descartados por no estudiar la población adecuada o no medir las variables deseadas. Algunos estudiaban deportistas en edad pediátrica, transgénero o personas moderadamente activas, sin ser deportistas de competición. En cuanto a las variables estudiadas, fueron excluidos aquellos estudios en los que se medían parámetros no claramente relacionados con el riesgo de lesión, como activación neuromuscular, en vez de laxitud de rodilla o fuerza muscular.

15 artículos fueron revisados por texto completo, de los cuales finalmente se excluyeron 5. Dos de ellos, de nuevo por no estudiar la población adecuada: estudiaban deportistas a nivel recreativo.

Otros dos artículos fueron excluidos por no estudiar la exposición hormonal durante el ciclo, sino que se centraban en el tiempo de exposición total, según la edad de menarquia.

Un estudio observacional prospectivo fue excluido por no existir ningún caso de lesión de LCA en el tiempo de seguimiento de la cohorte.

La figura 2.1 muestra el diagrama de flujo del proceso de cribado y selección de artículos.

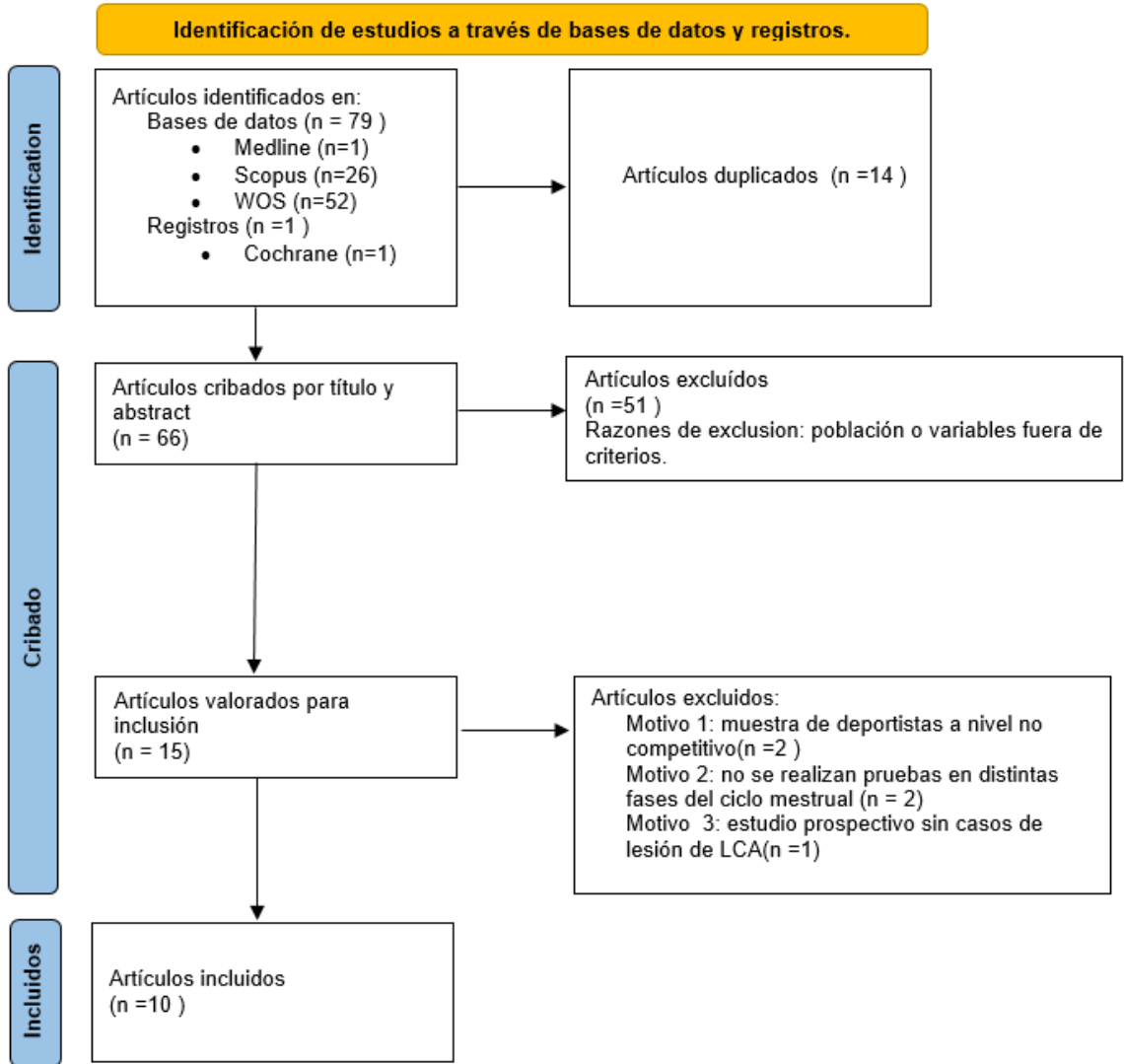


Figura 2.1: diagrama de flujo

3.1 Estudios incluidos:

Finalmente 10 registros fueron incluidos en la revisión:

Estudio 1: *The effects of sex hormones during the menstrual cycle on knee kinematics* (15)

Se trata de un estudio observacional analítico de medidas repetidas. Se realizaron análisis estadísticos de los parámetros medidos en distintas ocasiones, donde cada sujeto actuaba como su propio control.

La muestra fueron 53 futbolistas de equipos universitarios, con ovulación regular. En ellas se midió la cinética de rodilla, en relación a los niveles séricos de hormonas femeninas.

El protocolo consistía en realizar un seguimiento durante dos ciclos menstruales. De ellos, el primero se utilizó para confirmar que las participantes tenían una ovulación y una fase lútea normales, mediante tiras de ovulación y medición de la concentración de progesterona en la fase lútea.

El segundo ciclo se dividió en cuatro fases: menstrual, folicular tardía, ovulatoria y lútea. En cada una de ellas se realizaron mediciones de LH, estrógeno y progesterona. En el mismo día de la medición de hormonas, se realizaba el test físico: las deportistas debían realizar una maniobra de corte a 90° en la que se analizaba la cinética de rodilla mediante análisis de movimiento por vídeo(Opti_Knee®)

En cuanto a los resultados, no hubo diferencias significativas en el plano sagital. En el plano frontal, el valgo máximo fue significativamente menor en la fase lútea, coincidiendo con máxima concentración de progesterona. El estudio concluye que el riesgo de lesión de LCA podría ser menor en la fase lútea, respecto a las tres restantes.

Estudio 2: *Is muscular strength balance influenced by menstrual cycle in female soccer players?* (16)

Estudio observacional analítico con un diseño de medidas repetidas y un grupo control. La muestra fue de 26 futbolistas femeninas y 12 masculinos, de clubes locales.

Las variables medidas fueron equilibrio entre la fuerza de extensores y flexores de la

rodilla en contracción isocinética (razón H/Q), en ambas extremidades inferiores. El protocolo incluyó un seguimiento de tres meses por parte de un investigador, para comprobar la regularidad del ciclo de las participantes. Sin embargo no se usaron kits de ovulación.

En el cuarto ciclo de seguimiento se realizaron las pruebas: el ciclo se dividió en dos fases, folicular y lútea. En ambas se midió la razón H/Q a 60° de todos los participantes.

La razón H/Q de las mujeres fue significativamente inferior durante la fase folicular, solo en la pierna no dominante. En el grupo de control masculino no hubo diferencias significativas entre ambas mediciones en ninguna de las dos piernas.

El estudio sugiere que podría existir mayor riesgo de lesión en la fase folicular.

Estudio 3: *The Relationship between Serum Relaxin Concentrations and Knee Valgus* (17)

Estudio observacional, analítico, transversal. La muestra fueron 22 atletas femeninas.

Se estudió la relación entre la concentración de relaxina en plasma y el valgo de rodilla en la realización de sentadilla a una pierna, drop jump y cross jump a una pierna

Al centrarse en la relaxina, el protocolo difiere de aquel de los estudios previos. Se seleccionaron atletas con ciclos regulares, excluyendo las participantes que tuvieran menos de 10 menstruaciones al año. El ciclo no se dividió en fases, sino que se realizaron mediciones solo en la fase lútea, por ser la fase en la que los niveles de relaxina son detectables. Así, se realizó la medición de relaxina en plasma entre los días 22-24 del ciclo menstrual y ese mismo día se procedió a la realización de los test de sentadilla y saltos. El valgo de rodilla se midió mediante un sistema de seguimiento electromagnético (trakSTAR™): se colocaron ocho electrodos en distintos puntos de la rodilla y el resto del cuerpo y se pidió a las participantes que realizaran sentadilla a una pierna, salto con caída vertical y caída cruzada a una pierna, midiendo en cada una de ellas el valgo en el punto de máxima flexión.

El análisis estadístico demostró correlación positiva estadísticamente significativa entre los niveles de relaxina y el valgo máximo de rodilla. Además se encontró una amplia variación en niveles de relaxina a nivel interindividual.

Estudio 4: *Preliminary Evaluation of Knee Kinetics in Female Athletes on Hormonal Contraceptives* (18)

Estudio observacional, analítico y comparativo. Se utilizó una muestra de 22 atletas femeninas con menstruaciones regulares. Se excluyeron las participantes con menos de 10 ciclos anuales.

El estudio midió la fuerza máxima vertical de reacción del suelo (vGRF) y fuerza de valgo de rodilla durante la realización de drop jump y cross jump a una pierna en usuarias de contraceptivos hormonales, comparado con no usuarias.

Se dividió a las participantes en dos grupos: usuarias de anticonceptivos hormonales y no usuarias. Ambos grupos realizaron los tests de salto (salto con caída vertical y caída cruzada a una pierna) en 2 fases de un mismo ciclo: pre-ovulatoria y lútea.

No se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos en ninguna de las fases. Los autores concluyen que el uso de anticonceptivos hormonales no altera el riesgo de lesión de LCA.

Estudio 5: *Tibial acceleration profiles during the menstrual cycle in female athletes* (19)

Estudio observacional analítico de medidas repetidas con grupo control. La muestra fueron 11 jugadoras de equipos regionales de netball.

La variable estudiada fue la aceleración tibial durante la realización de una maniobra de deceleración, en relación al momento del ciclo.

Se dividió el ciclo en 4 fases: menstrual, folicular, ovulatoria y lútea, se realizó una medición de niveles de LH, FSH, estrógenos y progesterona en cada una de ellas. Se utilizó además un grupo de control de deportistas masculinos.

En cada uno de los cuatro días de toma de muestras, se realizó una medición de perfiles de aceleración tibial con acelerómetro uniaxial.

Se encontraron diferencias significativas en el tiempo hasta aceleración tibial máxima (TPTA) entre 3 de las cuatro fases del ciclo (aumenta progresivamente hasta la ovulación) pero no en los demás parámetros medidos. (aceleración tibial máxima y tiempo hasta aceleración tibial cero).

El estudio concluye que el riesgo de lesión de LCA podría ser mayor durante la ovulación.

Estudio 6: *Influence of the Menstrual Cycle and Training on the Performance of a Perturbed Single-Leg Squatting Task in Female Collegiate Athletes* (20)

Con una muestra de 21 deportistas de liga universitaria de diferentes deportes, se realizó un estudio observacional, analítico y comparativo, de medidas repetidas. Se estudió la activación del cuádriceps y control de la activación de rodilla en la realización de una sentadilla a una pierna, según el momento del ciclo menstrual. Se midieron los niveles de estrógeno y progesterona en sangre para determinar la fase del ciclo. Tanto la determinación de hormonas como el test físico se realizaron en 3 fases del ciclo: folicular temprana, folicular tardía y lútea. Se monitorizó la actividad muscular mediante EMG y se midió el control de la rodilla en el plano sagital al realizar la sentadilla.

El análisis de los resultados demostró que la activación del cuádriceps y el control de rodilla en la fase lútea fue significativamente mayor que en las fases foliculares temprana y tardía.

Estudio 7: *Isometric and isokinetic strength of lower limb muscles in female athletes during different phases of menstrual cycle: a causal comparative study* (21)

Estudio observacional, analítico y comparativo, de medidas repetidas. La muestra fue de 37 atletas de equipos universitarios de deportes considerados de alto riesgo de lesión de LCA.

Las variables estudiadas fueron la fuerza máxima isocinética (medida a 60°/s) e isométrica (medida a 60°), según la fase del ciclo menstrual. Se realizaron tests de fuerza de cuádriceps e isquiotibiales en tres fases del ciclo: folicular, ovulatoria, lútea. No se realizaron mediciones de niveles hormonales, sino que se determinaron las fases del ciclo basándose en el auto reporte, excluyendo las participantes que refirieron ciclos irregulares o mayores de 30 días. Los parámetros de fuerza utilizados fueron: pico de torque en fuerza isocinética, pico de torque en fuerza isométrica y razón H/Q. El análisis de los resultados reveló que la fuerza máxima era significativamente mayor en la fase ovulatoria, respecto a las fases folicular y lútea. No se encontraron diferencias significativas en la razón H/Q. Los autores concluyen que la fase ovulatoria podría ser de menor riesgo, respecto a las fases folicular y lútea.

Estudio 8: *The influence of menstrual cycle phase on isokinetic knee flexor and extensor strength in female soccer players: a pilot study* (22)

Estudio tipo observacional, analítico y comparativo, de medidas repetidas . La muestra está conformada por 8 jugadoras de liga universitaria de fútbol.

Las variables estudiadas fueron la fuerza isocinética y rango funcional de flexores y extensores de rodilla dominante según la fase del ciclo menstrual.

El ciclo se dividió en tres fases: folicular, ovulatoria y lútea, utilizando tiras de ovulación para identificar las fases y excluir las participantes con ciclos anovulatorios. En cada una de las fases se llevaron a cabo mediciones de pico de torque, ángulo correspondiente de pico de torque y rango funcional (tanto excéntricos como concéntricos) utilizando un dinamómetro isocinético.

No se encontraron diferencias significativas en la fuerza torque máxima entre fases del ciclo. Sólo el rango funcional excéntrico de flexores fue significativamente menor en la fase folicular.

Estudio 9: *Descriptive study of cruciate ligament injuries in female soccer* (23)

Estudio de tipo descriptivo observacional retrospectivo con un componente analítico/comparativo. La muestra estaba conformada por 71 jugadoras de fútbol de 1ª y 2ª división.

La variable estudiada fue la incidencia de lesión según la fase del ciclo menstrual. Estudio descriptivo retrospectivo, en el que se pasó un cuestionario a las jugadoras que habían sufrido lesión de LCA en las 10 temporadas previas.

Se estudiaron 94 lesiones. Las fases en las que más lesiones se reportaron fueron lútea(25) y menstrual(19). Es destacable que 33 participantes respondieron “no sabe no contesta” a la pregunta referente a la fase del ciclo en la que ocurrió la lesión.

Estudio 10: *Knee Laxity Variations in the Menstrual Cycle in Female Athletes Referred to the Orthopedic Clinic* (24)

Estudio de tipo observacional, analítico y comparativo, de medidas repetidas.

La muestra fue de 40 atletas femeninas seleccionadas por aleatorización simple, entre aquellas referidas a la clínica.

Se estudió la laxitud de la rodilla en relación a los niveles hormonales. La medición de niveles hormonales se realizó mediante analítica de sangre, en tres fases distintas del ciclo: menstrual, pre-ovulatoria y lútea. Para valorar la laxitud de rodilla se utilizó el test del cajón anterior.

No se encontraron diferencias significativas en la laxitud de rodilla entre las distintas fases del ciclo.

3.2 Clasificación de los estudios según sus conclusiones

Los estudios son heterogéneos en cuanto a sus conclusiones, según la fase del ciclo que consideran de mayor riesgo de lesión de LCA, pueden ser clasificados en tres grupos:

Estudios que atribuyen mayor riesgo a la fase folicular: 1, 2, 6 y 8

El estudio 1 encontró que el valgo era mayor en la fase folicular que en la lútea, el estudio 2 encuentra una razón H/Q en la pierna no dominante menor en la fase folicular, el estudio 6 halló menor activación cuadriceps y control motor de rodilla en esta fase y el estudio 8 obtuvo un rango funcional excéntrico de flexores reducido respecto a otras fases.

Estudios que atribuyen mayor riesgo a la fase lútea: 5 y 9.

El estudio 5 obtuvo un tiempo hasta aceleración pico mayor en esta fase, el estudio 9 encontró la mayor incidencia de lesión en esta fase.

Otros resultados:

El estudio 7 concluyó que el riesgo de lesión es mínimo en la fase ovulatoria, siendo más elevado tanto en la fase folicular como en la lútea.

El estudio 3 encontró que existe una correlación positiva entre los niveles séricos de relaxina y la laxitud de rodilla.

El estudio 4 no encontró diferencias significativas entre la estabilidad de rodilla de usuarias de anticonceptivos hormonales y no usuarias.

El estudio 10 no encontró diferencias de laxitud de rodilla entre las fases del ciclo.

3.3 Riesgo de sesgo de los estudios seleccionados

Para valorar el riesgo de sesgo de los estudios incluidos en la revisión se ha utilizado la herramienta ROBINS-I versión 2, para estudios no aleatorizados. La herramienta analiza los siguientes dominios del sesgo:

1. Sesgo por confusión
2. Sesgo en la selección de los participantes
3. Sesgo en la clasificación de la exposición
4. Sesgo por desviaciones de la exposición prevista
5. Sesgo por datos faltantes
6. Sesgo en la medición del resultado
7. Sesgo en la selección del reporte

El resultado del análisis del riesgo de sesgo de los estudios se recoge en la tabla 3.1

| Estudio | Riesgo de sesgo | Aspectos positivos y negativos destacables |
|------------|-----------------|--|
| Estudio 1 | Moderado | ✓ Diseño sólido y cuidados metodológicos importantes. ×Validez interna limitada por la ausencia de ciego y de ajuste por factores de confusión. |
| Estudio 2 | Moderado | ✓ Muestra bien definida, control de variables de confusión. ×Ausencia de ciego y de medición directa de la exposición. |
| Estudio 3 | Moderado | ✓ Correcta selección de participantes y manejo de los datos. ×Ausencia de control de variables de confusión. ×Medida de un único parámetro, limitada exhaustividad del análisis. |
| Estudio 4 | Moderado | ×No control de variables de confusión, ausencia de medición directa de la exposición. ×Análisis limitado a dos parámetros cinéticos. |
| Estudio 5 | Moderado | ✓ Uso de instrumentos validados para la medición. ×Posible sesgo de selección, no control de variables de confusión. ×Ausencia de análisis multivariante. |
| Estudio 6 | Moderado | ✓ Correcta medición de la exposición, uso de herramientas objetivas de medición. ×Ausencia de control de variables de confusión, diseño transversal, no analiza todas las variables recogidas |
| Estudio 7 | Moderado | ✓ Protocolo estructurado, tecnología de medición validada. ×Determinación de la exposición basada en autorreporte, posible sesgo de selección, no analiza todas las variables recogidas. |
| Estudio 8 | Moderado | ✓ Medida de parámetros novedosos. ×Pequeño tamaño de muestra, sin control de variables de confusión ni medición directa de la exposición. |
| Estudio 9 | Alto | ×Diseño impide control de variables de confusión, datos auto reportados. |
| Estudio 10 | Moderado | ✓ Medida directa de la exposición y metodología estandarizada. ×Sesgo de selección, tamaño muestral reducido. No se controlaron las variables de confusión. |

Tabla 3.1: análisis del riesgo de sesgos

4. Discusión

El objetivo de esta revisión ha sido recopilar la evidencia reciente sobre la relación entre las hormonas femeninas y el riesgo de lesión de LCA. Para lograrlo, ha sido necesario formular criterios de inclusión laxos. Estos criterios permitieron obtener una visión amplia del factor hormonal femenino en la inestabilidad de rodilla, incluyendo los estudios que valoraban la relaxina y los efectos de los anticonceptivos hormonales, además de los estudios que se centran en los efectos de estrógenos y progesterona. Además, sólo criterios laxos permitieron lograr un volumen aceptable de artículos a revisar, poniendo en evidencia la falta de literatura sobre el tema, a pesar del auge del deporte femenino y de la relevancia de la lesión de LCA en este ámbito.

Los resultados de esta revisión se pueden dividir en tres grupos: aquellos artículos que estudian la relación entre estrógenos y progesterona e inestabilidad de rodilla, aquellos que estudian la relación entre nivel de relaxina e inestabilidad de rodilla y aquellos que estudian el efecto de los anticonceptivos orales sobre la articulación.

A su vez, existe heterogeneidad en los parámetros utilizados para valorar la inestabilidad de la rodilla. A continuación se explican los distintos parámetros utilizados por los estudios.

4.1 Parámetros medidos

Todos los estudios seleccionados buscan valorar el factor hormonal como factor de riesgo para lesión de LCA, sin embargo, no todos utilizan las mismas variables ni los mismos parámetros para establecer el riesgo de lesión. A continuación se listan los parámetros utilizados por los distintos estudios así como su validez a la hora de predecir el riesgo de lesión.

Valgo de rodilla:

Dos de los estudios miden el valgo de rodilla a la hora de realizar un movimiento específico, es decir, el valgo dinámico.

El valgo de rodilla ha sido estudiado ampliamente como factor de riesgo anatómico para sufrir una lesión de LCA, y viene determinado por el ángulo Q. Este ángulo es el que se forma al trazar una línea desde la espina ilíaca anterosuperior al centro de la rótula y otra línea desde el mismo centro de la rótula a la tuberosidad anterior de la tibia, en mujeres suele ser mayor que en hombres, por tener una pelvis más ancha. Un ángulo Q elevado

implica una posición de la articulación con tensión en los ligamentos y además dificulta la absorción de cargas axiales, de modo que el valgo dinámico también es mayor. (25)

El valgo de rodilla dinámico es el que se produce durante la realización de un movimiento y no viene dado sólo por la estructura ósea, sino que también viene determinado por la activación de los músculos abductores de la cadera. Estudios han demostrado que las atletas femeninas presentan debilidad en los abductores de cadera con mayor frecuencia que sus contrapartes masculinas, exponiéndose a un mayor riesgo de lesión de rodilla. (26)

Aceleración tibial:

Sólo uno de los estudios utiliza este parámetro para medir la inestabilidad de la rodilla. Aunque es un parámetro poco utilizado, se ha descrito una correlación positiva entre la aceleración tibial en maniobras de deceleración y mediciones directas de laxitud de rodilla en laboratorio. (27)

Por otra parte, Mc Lean et al. también demostraron que sujetos con mayor aceleración tibial en los primeros milisegundos de maniobras de aterrizaje soportan mayor tensión en su LCA, especialmente en la porción anteromedial. (27)

Sin embargo, no se ha encontrado evidencia que relacione directamente la aceleración tibial con una mayor incidencia de lesión de LCA.

El estudio 5 mide dos parámetros más, además de la aceleración pico: el tiempo hasta aceleración tibial cero (TZTA) y el tiempo hasta aceleración tibial pico (TPTA). El TZTA es el tiempo que la tibia tarda en alcanzar una velocidad constante, un TZTA bajo es indicativo de buena estabilidad de la rodilla.

Por otra parte, el TPTA es el tiempo hasta que se alcanza la máxima aceleración tibial. Un TPTA corto es, de nuevo, indicativo de buena estabilidad y funcionalidad de la rodilla. (28)

En el estudio 5 se encontraron diferencias significativas sólo en este último parámetro.

Fuerza isocinética de flexores y extensores:

Tres de los artículos miden la fuerza isocinética de extensores, flexores o ambos. La fuerza isocinética es aquella que se ejerce durante una contracción máxima a una velocidad constante. Puede ser medida a distintas velocidades y en diferentes ángulos del rango de movimiento de la articulación. Por sí sola no es un gran predictor de riesgo de lesión de

LCA, es la relación entre la fuerza de distintos grupos musculares la que puede utilizarse como predictor.

Razón H/Q:

Se conoce la razón H/Q como la razón entre la fuerza torque máxima de los flexores de rodilla y aquella de los extensores. Sus valores normales varían según la velocidad a la que se mida la contracción isocinética y el ángulo, pero se puede considerar normal un valor en torno a 1.

Se ha descrito que un desequilibrio entre la fuerza ejercida por ambos grupos musculares podría tener un efecto negativo en la estabilidad de la extremidad inferior. (29) Investigadores encontraron una incidencia mayor de lesión de extremidad inferior (incluyendo ACL) en aquellas atletas con un desequilibrio en este parámetro. (30)

Sin embargo hay autores que no han encontrado una clara relación entre un H/Q alterado y una mayor incidencia de lesión, poniendo en duda que este parámetro sea útil en la predicción del riesgo de lesión, considerándolo más útil a la hora de valorar desequilibrios musculares en el post operatorio de la reconstrucción de LCA. (31)

La falta de acuerdo en cuanto a la relación del H/Q con una mayor incidencia de lesión de LCA convierte a este parámetro en subóptimo a la hora de estimar el riesgo de lesión de LCA.

Rango funcional

Uno de los estudios (estudio 8) mide este parámetro, además de la razón H/Q. El rango funcional es un parámetro que indica el rango de movimiento en el que el individuo puede ejercer una fuerza máxima. Se ve representado en la forma de la gráfica de la curva de fuerza. Un rango funcional elevado se traduce en una curva de fuerza más plana en su ápex, es decir, el individuo es capaz de ejercer una fuerza máxima en un rango de movimiento mayor. Un rango funcional reducido, por el contrario, se traduce en una curva de fuerza picuda, dónde el individuo sólo es capaz de ejercer la fuerza máxima en un rango de movimiento reducido.

El estudio de este parámetro resulta interesante en la valoración del riesgo de lesión de rodilla porque permite estudiar los cambios en la fuerza muscular de modo más matizado, sin reducirlo a una máxima y con mayor transferibilidad a la práctica deportiva real. (32)

Así, el estudio en cuestión no encontró cambios a lo largo del ciclo en la fuerza máxima, sin embargo sí que encontró diferencias estadísticamente significativas en el rango funcional, siendo este menor en la fase folicular

La variedad en las variables y parámetros utilizados para cuantificar el riesgo de lesión dificulta la comparación entre estudios.

Son 4 los artículos que se centran en el estudio de la laxitud de rodilla, midiendo aceleración tibial y valgo dinámico, frente a 5 artículos que estudian la activación muscular, midiendo razón H/Q y rango funcional. Sólo uno de los artículos estudia la incidencia de lesiones de ligamento cruzado según el momento del ciclo.

También los resultados de los estudios incluidos en la revisión son heterogéneos, y no sugieren una relación clara entre fase del ciclo menstrual y riesgo de lesión. Existen 4 estudios (estudios 1, 2, 6 y 8) cuyos hallazgos sugieren un riesgo de lesión de LCA mayor en la fase folicular y 2 estudios (estudio 5 y 9) que sugieren que el riesgo es mayor en la fase lútea. El artículo 7 sugiere que el riesgo es menor en la fase ovulatoria, respecto a las fases folicular y lútea.

El estudio 3, referente a la relaxina, encuentra una correlación positiva entre los niveles de relaxina y laxitud de rodilla. Además encuentra que estos niveles tienen mayor variabilidad interindividual que cíclica.

Estos resultados siguen la línea de la literatura anterior, en la cual tampoco existe un claro acuerdo sobre cuál es la fase del ciclo menstrual en la que existe un mayor riesgo de lesión de LCA.

Por una parte, estudios de diseño similar a los incluidos en esta revisión encuentran mayor laxitud de rodilla en la fase folicular (33), así como evidencia que encuentra mayor incidencia en esta fase. (34)

Por otra parte, igualmente, existen múltiples estudios anteriores, semejantes a los incluidos en esta revisión, que apoyan la existencia de un mayor riesgo de lesión en la fase lútea. (35), (36). Sin embargo, no hemos encontrado estudios epidemiológicos anteriores en los que se evidencie una incidencia de lesión mayor en la fase lútea.

Además de las diferencias halladas en los distintos estudios, cabe mencionar aquellas no halladas. Siete de los diez estudios no encontraron diferencias significativas entre las distintas fases del ciclo en al menos uno de los parámetros medidos.

Estudios donde los parámetros habituales como aceleración tibial o razón H/Q no presentaban diferencias significativas entre fases del ciclo, presentaban diferencias en parámetros más innovadores como tiempos de aceleración tibial o rango funcional (Estudios 5 y 8). Esto pone en evidencia la complejidad a la hora de definir el riesgo de lesión de rodilla, así como la necesidad de diseñar estudios en los que se analicen múltiples parámetros, incluyendo los más innovadores, con el fin de llegar a estimar el riesgo real de lesión.

4.2 Limitaciones de la revisión:

Esta revisión presenta múltiples limitaciones, que deben considerarse para interpretar sus resultados.

En primer lugar, sólo se han revisado artículos escritos en inglés, lo cual introduce un posible sesgo al excluir artículos potencialmente relevantes escritos en otros idiomas.

Por otra parte, un único revisor realizó el trabajo, aumentando la probabilidad de errores en la extracción de la información.

Además, los criterios de inclusión fueron laxos; por tanto, los estudios incluidos son heterogéneos, con distintas metodologías y variables de interés. Esto dificulta la comparación entre estudios así como la extracción de conclusiones.

La calidad de los estudios incluidos es otra importante limitación de la revisión. 9 de los 10 estudios incluidos fueron considerados de moderado riesgo de sesgo en la herramienta ROBINS-I: usaron muestras reducidas y ninguno consideró variables de confusión. Además algunos de los parámetros que se utilizaron para valorar el riesgo de lesión presentan dudosa correlación con mayor incidencia de lesión.

Finalmente, la limitación crítica de la revisión es que ninguno de los estudios incluidos realizó un seguimiento posterior para constatar si los sujetos identificados como “de riesgo” presentaron mayor incidencia de lesión, por tanto sus resultados no permiten elaborar conclusiones sobre el efecto de las hormonas en la incidencia de lesión de LCA.

5. Conclusiones

- 1) En atletas femeninas existe un elevado riesgo de lesión de ligamento cruzado anterior debido a factores anatómicos.
- 2) El estudio de factores de riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior como la exposición a hormonas femeninas, el efecto de los cambios hormonales del ciclo menstrual y el efecto de los anticonceptivos y la relaxina no arroja evidencia significativa.
- 3) La ausencia de diferencias significativas al utilizar algunos de los parámetros clásicos (razón H/Q, valgo, traslación anterior tibial) en contraste con la presencia de diferencias en parámetros más innovadores (TPTA, rango funcional) sugiere la necesidad de mayor profundización a la hora de diseñar estudios.
- 4) Se ha comprobado una falta de rigor metodológico en el ámbito del deporte femenino: todos los estudios revisados presentaron un riesgo de sesgo moderado y un tamaño muestral reducido, así como seguimientos escasos.
- 5) Es necesaria más investigación de calidad sobre la relación entre las hormonas femeninas y el riesgo de lesión en deportistas, puesto que la evidencia hasta el momento no permite afirmar ni descartar que exista una fase del ciclo menstrual donde el riesgo sea mayor.

6. Bibliografía:

1. Arendt EA, Agel J, Dick R. Anterior Cruciate Ligament Injury Patterns among Collegiate Men and Women. *J Athl Train*. 1999;34(2):86–92.
2. Apseloff NA, Hughes JD, Devitt BM, Musahl V. Primary Anterior Cruciate Ligament Injury: Extrinsic and Intrinsic Risk Factors. *JAAOS - J Am Acad Orthop Surg* [Internet]. 9900.
3. Beynnon BD, Tourville TW, Hollenbach HC, Shultz S, Vacek P. Intrinsic Risk Factors for First-Time Noncontact ACL Injury: A Prospective Study of College and High School Athletes. *Sports Health*. 2023 May 1;15(3):433–42.
4. Saber B, Bridger D, Agrawal DK. A Critical Analysis of the Factors Contributing to Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes. *J Orthop Sport Med* [Internet]. 2024;6(4):203–9.
5. Slauterbeck JR, Fuzie SF, Smith MP, Clark RJ, Xu K, Starch DW, et al. The Menstrual Cycle, Sex Hormones, and Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Athl Train*. 2002
6. Samuelson K, Balk EM, Sevetson EL, Fleming BC. Limited Evidence Suggests a Protective Association Between Oral Contraceptive Pill Use and Anterior Cruciate Ligament Injuries in Females: A Systematic Review. *Sport Heal Multidiscip APPROACH*. 2017;9(6):498–510.
7. Webster Kate E, Feller Julian A. Expectations for Return to Preinjury Sport Before and After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* [Internet]. 2019 Jan 16;47(3):578–83.
8. Gao Han, Hu Haichen, Sheng Dandan, Sun Luyi, Chen Jun, Chen Tianwu, et al. Risk Factors for Ipsilateral Versus Contralateral Reinjury After ACL Reconstruction in Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop J Sport Med* [Internet]. 2023 Dec 1;11(12):23259671231214296.
9. Berga SL, Johnston-MacAnanny EB. Physiology of the menstrual cycle. *Clin Gynecol* Second Ed. 2015;(17):972–84.

10. Carmichael MA, Thomson RL, Moran LJ, Wycherley TP. The Impact of Menstrual Cycle Phase on Athletes' Performance: A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Feb;18(4).
11. Marshall SA, Senadheera SN, Parry LJ, Girling JE. The Role of Relaxin in Normal and Abnormal Uterine Function During the Menstrual Cycle and Early Pregnancy. *Reprod Sci [Internet]*. 2017;24(3):342–54.
12. Wreje U, Kristiansson P, Aberg H, Byström B, von Schoultz B. Serum levels of relaxin during the menstrual cycle and oral contraceptive use. *Gynecol Obstet Invest*. 1995;39(3):197–200.
13. Alfonso VS, Gomar F, Valencia U De. Anatomía descriptiva y funcional del ligamento cruzado anterior . *Implicaciones clínico-quirúrgicas*. 1992;33–42.
14. Boden BP, Sheehan FT. Mechanism of non-contact ACL injury: OREF Clinical Research Award 2021. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc*. 2022 Mar;40(3):531–40.
15. Bingzheng Z, Xinzhuo Z, Zhuo J, Xing Y, Bin L, Lunhao B. The effects of sex hormones during the menstrual cycle on knee kinematics. *Front Bioeng Biotechnol [Internet]*. 2023;11.
16. Dos Santos Andrade M, Mascarin NC, Foster R, De Jármay Di Bella ZI, Vancini RL, Barbosa De Lira CA. Is muscular strength balance influenced by menstrual cycle in female soccer players? *J Sports Med Phys Fitness [Internet]*. 2017;57(6):859–64.
17. Gilmer GG, Roberts MD, Oliver GD. The Relationship between Serum Relaxin Concentrations and Knee Valgus. *Int J Sports Med [Internet]*. 2020;41(3):182–8.
18. Gilmer G, Oliver GD. Preliminary Evaluation of Knee Kinetics in Female Athletes on Hormonal Contraceptives. *Int J Sports Med [Internet]*. 2020;41(2):113–8.
19. Hohmann E, Bryant AL, Livingstone E, Reaburn P, Tetsworth K, Imhoff A. Tibial acceleration profiles during the menstrual cycle in female athletes. *Arch Orthop Trauma Surg [Internet]*. 2015;135(10):1419–27.
20. Johnson KA, Shields RK. Influence of the Menstrual Cycle and Training on the Performance of a Perturbed Single-Leg Squatting Task in Female Collegiate Athletes. *Orthop J Sport Med [Internet]*. 2024;12(6).

21. Pournasiri F, Zarei M, Mainer-Pardos E, Nobari H. Isometric and isokinetic strength of lower-limb muscles in female athletes during different phases of menstrual cycle: a causal-comparative study. *BMC Womens Health* [Internet]. 2023;23(1).
22. Quigley T, Greig M. The influence of menstrual cycle phase on isokinetic knee flexor and extensor strength in female soccer players: a pilot study. *Res Sport Med*. 2025;33(1):87–96.
23. Reyes SS, Gomez JS, Ponce IG, Moraleda BR. Descriptive study of cruciate ligament injuries in female soccer. *RETOS-NUEVAS TENDENCIAS EN Educ Fis Deport Y RECREACION*. 2023;(50):172–9.
24. Shafiei SE, Peyvandi S, Kariminasab MH, Azar MS, Daneshpoor SMM, Khalilian A, et al. Knee laxity variations in the menstrual cycle in female athletes referred to the orthopedic clinic. *Asian J Sports Med* [Internet]. 2016;7(4).
25. Russell KA, Palmieri RM, Zinder SM, Ingersoll CD. Sex differences in valgus knee angle during a single-leg drop jump. *J Athl Train*. 2006;41(2):166–71.
26. Jones HSR, Stiles VH, Verheul J, Moore IS. Angular Velocities and Linear Accelerations Derived from Inertial Measurement Units Can Be Used as Proxy Measures of Knee Variables Associated with ACL Injury. *Sensors*. 2022;22(23).
27. McLean SG, Oh YK, Palmer ML, Lucey SM, Lucarelli DG, Ashton-Miller JA, et al. The relationship between anterior tibial acceleration, tibial slope, and ACL strain during a simulated jump landing task. *J Bone Joint Surg Am*. 2011 Jul;93(14):1310–7.
28. Bryant AL. University of Wollongong Thesis Collection Knee function and neuromuscular adaptations following ACL rupture and reconstruction. *Medicine (Baltimore)*. 2007;
29. Kim Daehan, Hong Junggi. Hamstring to quadriceps strength ratio and noncontact leg injuries: A prospective study during one season. *Isokinet Exerc Sci* [Internet]. 2011 Feb 1;19(1):1–6.
30. Knapik Joseph J, Bauman Connie L, Jones Bruce H, Harris John McA., Vaughan Linda. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med* [Internet]. 1991 Jan 1;19(1):76–81.

31. Kellis E, Sahinis C, Baltzopoulos V. Is hamstrings-to-quadriceps torque ratio useful for predicting anterior cruciate ligament and hamstring injuries? A systematic and critical review. *J Sport Heal Sci*. 2023 May;12(3):343–58.
32. Eustace SJ, Richard Michael P, and Greig M. Contemporary approaches to isokinetic strength assessments in professional football players. *Sci Med Footb [Internet]*. 2017 Sep 2;1(3):251–7.
33. Heitz NA, Eisenman PA, Beck CL, Walker JA. Hormonal changes throughout the menstrual cycle and increased anterior cruciate ligament laxity in females. *J Athl Train*. 1999 Apr;34(2):144–9.
34. Lefevre N, Bohu Y, Klouche S, Lecocq J, Herman S. Anterior cruciate ligament tear during the menstrual cycle in female recreational skiers. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013 Sep;99(5):571–5.
35. Dedrick GS, Sizer PS, Merkle JN, Hounshell TR, Robert-McComb JJ, Sawyer SF, et al. Effect of sex hormones on neuromuscular control patterns during landing. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol*. 2008 Feb;18(1):68–78.
36. Okazaki M, Kaneko M, Ishida Y, Murase N, Katsumura T. Changes in the Width of the Tibiofibular Syndesmosis Related to Lower Extremity Joint Dynamics and Neuromuscular Coordination on Drop Landing During the Menstrual Cycle. *Orthop J Sport Med*. 2017 Sep;5(9):2325967117724753

7. Anexos

7.1 Anexo 1: Tabla resumen de los estudios incluidos en la revisión.

| Nº | Autor | Muestra | Tipo de estudio y Variable estudiada | Protocolo | Resultados |
|----|------------------------------------|---|---|--|--|
| 1 | Bingzheng, Z et al., 2023 | 53 futbolistas de equipos universitarios, con ovulación regular | Estudio observacional, analítico de medidas repetidas. Niveles hormonales y cinética de la rodilla mediante análisis de movimiento por vídeo(Opti_Knee®) durante la realización de un corte a 90° | Mediciones de LH, Progesterona y Estrógeno en 4 fases de un mismo ciclo. (menstrual, folicular tardía, ovulatoria y lútea) Realización de test corte a 90ª tras la extracción de sangre. | No hubo diferencias significativas en el plano sagital. En el plano frontal, el valgo máximo fue significativamente menor en la fase lútea |
| 2 | Dos Santos Andrade, M et al., 2017 | 26 futbolistas femeninas y 12 masculinos, de clubes locales. | Estudio observacional analítico con un diseño de medidas repetidas y un grupo control. Equilibrio de la fuerza de la rodilla en contracción isocinética: razón H/Q en ambas extremidades inferiores. | Medición del H/Q en dos fases del ciclo: Folicular y lútea sin medición directa de hormonas, previos controles durante 3 ciclos para comprobar ovulación. | Razón H/Q de las mujeres significativamente inferior durante la fase folicular, solo en pierna no dominante. No diferencias significativas entre las dos mediciones de los hombres. |
| 3 | Gilmer, G G et al., 2020 | 22 atletas femeninas | Estudio observacional, analítico, transversal. Concentración de relaxina en plasma y valgo de rodilla en la realización de sentadilla a una pierna, drop jump y cross jump a una pierna | Medición de relaxina en plasma en la fase lútea (días 22-24 del ciclo menstrual) y realización de los test de sentadilla y saltos el mismo día. | Correlación positiva estadísticamente significativa entre los niveles de relaxina y el valgo máximo de rodilla. |
| 4 | Gilmer, G G; Oliver, G D, 2020 | 22 atletas femeninas | Estudio observacional, analítico y comparativo. Fuerza máxima vertical de reacción del suelo (vGRF) y fuerza de valgo de rodilla durante la realización de drop jump y cross jump a una pierna en usuarias de contraceptivos hormonales y no usuarias. | Participantes divididas en 2 grupos: usuarias de anticonceptivos hormonales y no usuarias. Se realizaron los tests de salto en 2 fases de un mismo ciclo para todas las participantes: pre-ovulatoria y lútea. | No se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos en ninguna de las fases. |

| | | | | | |
|----|----------------------------------|--|---|---|---|
| 5 | Hohman, E et al., 2015 | 11 jugadoras de equipos regionales de netball | Estudio observacional, analítico de medidas repetidas con grupo control. Perfiles de aceleración tibial durante la realización de una maniobra de deceleración. | Medición de niveles de LH, FSH, estrógenos y progesterona en 4 fases del ciclo: menstrual, folicular, ovulatoria y lútea. Grupo de control de deportistas masculinos. Medición de perfiles de aceleración tibial con acelerómetro uniaxial. | Se encontraron diferencias significativas en el tiempo de aceleración pico entre 3 de las cuatro fases del ciclo (aumenta progresivamente) pero no en los demás parámetros medidos. |
| 6 | Johnson, K A; Shields, R K, 2024 | 21 deportistas de liga universitaria (diferentes deportes) | Estudio observacional, analítico y comparativo, de medidas repetidas. Activación del cuádriceps y control de la activación de rodilla en la realización de una sentadilla a una pierna. Niveles de estrógeno y progesterona | Medición de niveles hormonales y test físico en 3 fases del ciclo: folicular temprana, folicular tardía y lútea. Se monitoriza la actividad muscular mediante EMG y se mide el control de la rodilla en el plano sagital al realizar la sentadilla. | La activación del cuádriceps y el control de rodilla en la fase lútea fue significativamente mayor que en las fases foliculares temprana y tardía |
| 7 | Pournasiri, F et al., 2023 | 37 atletas de equipos universitarios | Estudio observacional, analítico y comparativo, de medidas repetidas. Fuerza máxima isocinética e isométrica y H/Q según la fase del ciclo | En mujeres eumenorreicas se realizaron tests de fuerza de cuádriceps e isquiotibiales en tres fases del ciclo: folicular, ovulatoria, lútea. | Fuerza máxima significativamente mayor en fase ovulatoria respecto a las fases folicular y lútea. No diferencias significativas en la razón HQ. |
| 8 | Quigley, T; Greig, M, 2025 | 8 jugadoras de liga universitaria de fútbol | Estudio observacional, analítico y comparativo, de medidas repetidas Fuerza isocinética y rango funcional de flexores y extensores de rodilla dominante según la fase del ciclo menstrual. | Mediciones de Pico de torque, Ángulo correspondiente de pico de torque y Rango funcional (tanto excéntricos como concéntricos) en tres fases del ciclo: folicular, ovulatoria y lútea, utilizando tiras de ovulación para identificar las fases. | No diferencias significativas en fuerza torque máxima entre fases del ciclo. Rango funcional excéntrico de flexores significativamente reducido en fase folicular. |
| 9 | Reyes, S et al., 2023 | 71 jugadoras de fútbol de 1ª y 2ª división | Estudio Descriptivo Observacional Retrospectivo con un componente Analítico/Comparativo. Incidencia de lesión según la fase del ciclo menstrual | Estudio descriptivo retrospectivo, cuestionario a las jugadoras lesionadas en las 10 temporadas previas | Las fases en las que más lesiones hubo fueron lútea(25) y menstrual(19) 33 participantes NSNC |
| 10 | Shafiei, S E et al., 2016 | 40 atletas femeninas seleccionadas por aleatorización simple | Estudio observacional, analítico y comparativo, de medidas repetidas. Laxitud de rodilla y niveles hormonales en tres fases del ciclo menstrual | Medición de niveles hormonales mediante analítica de sangre en 2 fases distintas del ciclo: menstrual, pre-ovulatoria y lútea. Laxitud de rodilla medida mediante test del cajón anterior | No hubo diferencias significativas en la laxitud de rodilla en distintas fases del ciclo. |

7.2 Anexo 2: Tabla resumen de las conclusiones de los estudios revisados

| Conclusiones de los estudios revisados en cuanto a fase del MC con mayor riesgo de lesión de LCA | | | |
|--|------------------|--|--|
| Fase folicular | | Fase ovulatoria | Fase Lútea |
| Menstrual | Folicular tardía | | |
| Estudio 1: Valgo mayor que en fase lútea. | | | Estudio 5: Tiempo hasta Aceleración Tibial Pico mayor |
| Estudio 2: Razón H/Q reducida en pierna no dominante | | | |
| Estudio 6: Menor activación de cuádriceps y control motor de rodilla | | | Estudio 7: Fuerza máxima reducida respecto a fase ovulatoria |
| Estudio 7: Fuerza máxima reducida respecto a fase ovulatoria. | | | |
| | | Estudio 9: mayor incidencia de lesiones de LCA | |

| |
|--|
| Estudio 3: correlación positiva entre niveles de relaxina y valgo de rodilla |
| Estudio 4: No se encontraron diferencias significativas en la fuerza máxima vertical de reacción del suelo entre usuarias y no usuarias de anticonceptivos |
| Estudio 10: No se encontró diferencias en la laxitud de rodilla entre las distintas fases del ciclo menstrual. |

7.3 Anexo 3: Tabla de riesgo de sesgo por estudio y por dominios del sesgo.

| | Sesgo por confusión | Sesgo en la selección de los participantes | Sesgo en la clasificación de la exposición | Sesgo por desviaciones de la exposición prevista | Sesgo por datos faltantes | Sesgo en la medición del resultado | Sesgo en la selección del reporte |
|-------------------|----------------------------|---|---|---|----------------------------------|---|--|
| Estudio 1 | Moderado | Bajo | Bajo | No aplicable | Bajo | Moderado | Bajo |
| Estudio 2 | Moderado | Bajo | Moderado | No aplicable | Bajo | Moderado | Bajo |
| Estudio 3 | Moderado | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Moderado | Moderado |
| Estudio 4 | Moderado | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Moderado | Moderado |
| Estudio 5 | Moderado | Moderado | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Moderado |
| Estudio 6 | Moderado | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Moderado |
| Estudio 7 | Moderado | Moderado | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Moderado |
| Estudio 8 | Moderado | Moderado | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Moderado |
| Estudio 8 | Alto | Moderado | No Aplica | No Aplica | Moderado | Moderado | Moderado |
| Estudio 10 | Moderado | Moderado | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Moderado |