



Universidad Abierta Interamericana (UAI)

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Licenciatura en Kinesiología y Fisiatría

Factores de riesgo femeninos de la lesión de ligamento cruzado anterior.

Autor: García Nicolas.

Tutor: Daniel Ruiz.

Año: 2024.

Resumen

La lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) tiene prevalencia en las mujeres. Los factores de riesgo propiamente femeninos, pueden responder a diferencias hormonales, anatómicas y genéticas a priori con los varones y tales condiciones pueden tener correlación con aspectos neurofisiológicos y biomecánicos. El objetivo de esta investigación consiste en buscar evidencia científica para actualizar los conocimientos sobre la discriminación de los factores de riesgo femeninos de la lesión de LCA. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica utilizando como recolección la base de datos de Google Scholar, recogiendo artículos desde 2019 a 2024. Sobre las conclusiones, se encontraron indicios de que la anatomía de la articulación de la rodilla puede variar según el sexo, con un posible vínculo entre el tamaño del LCA y el riesgo de lesiones. En los aspectos hormonales, hemos observado que si bien existen diferencias en la laxitud de las articulaciones a lo largo del ciclo menstrual, este factor no parece ser un determinante predominante en las lesiones de LCA. En los aspectos genéticos, hemos identificado algunas diferencias en la expresión de genes relacionados con la remodelación de tejidos que podrían estar vinculadas a la susceptibilidad de las atletas a sufrir lesiones de LCA. En aspectos biomecánicos si bien hay diferencias en ciertos parámetros entre hombres y mujeres, estas diferencias no parecen ser determinantes sustanciales para las lesiones de LCA. En cuanto a los aspectos neuromusculares, hemos observado que el tiempo de activación de los músculos cuádriceps e isquiotibiales según el sexo puede desempeñar un papel importante en el riesgo de lesión de LCA.

Palabras claves: Ligamento cruzado anterior, epidemiología, factores de riesgo, sexo.

Índice

Resumen	p. 2
Palabras claves	p. 2
Índice	p. 3
Introducción	p. 4
Problema	p. 5
Antecedentes	p. 6
Justificación	p. 7
Objetivos	p. 8
General	p. 8
Específicos	p. 8
Hipótesis	p. 8
Marco teórico	p. 9
Marco metodológico	p. 18
Técnicas e instrumentación de recolección de datos	p. 18
Categorías	p. 18
Análisis y resultados	p. 23
Conclusiones	p. 30
Bibliografía	p. 32

Introducción

La articulación de la rodilla está denominada como una de las articulaciones más complejas del cuerpo. Además es de las que presenta una mayor vulnerabilidad durante la práctica deportiva debido a su gran movilidad, la gran cantidad de peso a la que es sometida y a que su estabilidad es dependiente casi por completo de la musculatura y ligamentos asociados. El LCA es una pieza clave en la regulación de la cinemática articular, se considera un órgano sensor que informa del estado de la musculatura periarticular de manera que influye sobre la posición articular, la dirección y la magnitud de las fuerzas, y de forma indirecta, intervienen en la distribución de las tensiones articulares. El LCA mantiene el contacto articular entre fémur y tibia, estabilizando la articulación de la rodilla en el plano sagital. En cualquier posición articular que adoptemos hay alguna parte de estos ligamentos que se encuentra en tensión (Kapandji, 2010). La función del LCA tiene un papel fundamental en la estabilización de la rodilla, siendo uno de los ligamentos con mayor índice de lesión (Ellison et al., 2021).

La cuestión de los factores de riesgo femeninos de las lesiones del LCA es un debate de gran complejidad para la kinesiólogía y la medicina (Ellison et al., 2021). Por un lado, los aspectos genéticos, hormonales y anatómicos, podrían dar las condiciones a priori, para entender la prevalencia de las lesiones según el sexo. Ahora bien, sus efectos biomecánicos y neurofisiológicos, también se encuentran en cuestionamientos (Ellison et al., 2021). Si bien, se podrían encontrar procedimientos para realizar operaciones para la reconstrucción y procesos de fortalecimiento y de re adecuación a través de la kinesiólogía, la comprensión teórica del funcionamiento del fenómeno todavía no encuentra unidad de criterio en la comunidad científica. Por ello, es central, realizar una revisión bibliográfica, que dé cuenta del estado de situación de las investigaciones, para dar las condiciones de las investigaciones futuras.

Esta multiplicidad de perspectivas a menudo genera confusión, lo que subraya la necesidad de unificar criterios y establecer un marco teórico sólido en este campo. En esta tesina, nos proponemos abordar esta complejidad y brindar una revisión bibliográfica de la problemática de los factores de riesgo femeninos las lesiones del LCA desde una perspectiva kinesiológica. Para ello, revisaremos de manera exhaustiva la literatura científica disponible, evaluando las teorías, técnicas y avances más relevantes en el tratamiento y prevención de estas lesiones.

Problema

Los factores de riesgo femeninos asociados a la lesión de LCA presentan discrepancias y polémicas desde su formulación. Chandrashekar et al. (2005; 2006) indican, en términos generales, una mayor prevalencia de lesiones de LCA en mujeres en comparación con hombres. Sin embargo, Sanders et al. (2016), al analizar historiales clínicos de 1841 individuos con desgarros aislados de LCA que no requerían cirugía en Estados Unidos entre 1990 y 2010, plantea matices estadísticos. Según esta investigación, hay un pico de incidencia (227.6 por cada 100,000 casos proyectados) entre los 14 y 18 años en mujeres, con una incidencia del 0.2276%. La incidencia es significativamente mayor en hombres que en mujeres (81.7 frente a 55.3 por cada 100,000 casos proyectados). La incidencia de desgarros de LCA disminuye con el tiempo en hombres, pero se mantiene estable en mujeres. La tasa de reconstrucción de LCA aumenta con el tiempo en todos los grupos de edad. En resumen, la prevalencia parece ser ambigua, siendo mayor durante el desarrollo en mujeres pero aumentando en la vida adulta en hombres. Sin embargo, la reconstrucción sería similar para ambos grupos, sugiriendo que a largo plazo no habría distinciones. Respecto a la evidencia clínica en varones adultos, algunos autores sostienen que corresponde a una mayor exposición de riesgos por parte de este género (Gianotti et al., 2009). En contraste con la conclusión de Sanders et al. (2016) sobre la reconstrucción equitativa, Huebner et al. (2012) afirma que algunas personas experimentan re-rupturas y desarrollan osteoartritis más adelante. Hashemi et al. (2008) argumenta que la distinción no está en el sexo, sino en la edad, altura, peso corporal e índice de masa corporal, que contribuyen significativamente en aspectos biomecánicos. También señala diferencias en la ultraestructura correlacionadas con propiedades biomecánicas. Ellison et al. (2021) menciona que, si bien inicialmente las investigaciones sobre la diferenciación de sexo respecto al LCA se centraron en diferencias hormonales, anatómicas y genéticas, actualmente se enfocan en el área neuromuscular, cinemática y entrenamiento específico. A pesar de estos enfoques, las discrepancias entre investigaciones aún no se han resuelto. Por consiguiente el problema es:

¿Cuáles son los factores de riesgo femeninos de la lesión de LCA? La prevalencia de las lesiones en LCA por parte de mujeres, ¿Responde a diferencias hormonales, anatómicas y

genéticas a priori en comparación con los varones? Tales condiciones, ¿Tienen correlación con aspectos neurofisiológicos y biomecánicos?

Antecedentes

El estudio del año 2000 de J. Wilckens , "La incidencia relativa de lesiones del ligamento cruzado anterior en hombres y mujeres en la Academia Naval de los Estados Unidos", evaluó el riesgo relativo de lesión de LCA en guardiamarinas femeninos y masculinos. Se registró la incidencia de lesiones durante actividades atléticas y entrenamiento militar de 1991 a 1997. En fútbol intercolegial, baloncesto y rugby, las mujeres mostraron un riesgo relativo de lesiones 3.96 veces mayor que los hombres. En deportes mixtos, el riesgo relativo fue de 1.40. En entrenamiento militar, las mujeres tenían un riesgo relativo de lesiones de 9.74 en comparación con los hombres. Comparando tasas generales anuales, las mujeres tenían un riesgo relativo de lesión del LCA de 2.44 en comparación con los hombres. Concluyeron que las mujeres guardiamarinas tenían un mayor riesgo relativo de lesión del LCA en diversas actividades.

En el trabajo de 1998 de E.Wojtys, "Asociación entre el ciclo menstrual y las lesiones del ligamento cruzado anterior en mujeres deportistas", se observó que las tasas de lesiones del LCA eran de cuatro a ocho veces más altas en mujeres que en hombres. La investigación se centró en la influencia del ciclo menstrual en las tasas de lesiones, encontrando una asociación significativa entre la etapa del ciclo y la probabilidad de una lesión del LCA. La fase ovulatoria mostró más lesiones de lo esperado, mientras que hubo menos lesiones en la fase folicular. Las hormonas, especialmente el estrógeno, fueron consideradas como posibles factores en la predisposición de las mujeres a las lesiones del LCA.

En el artículo de 2006 de T. Hewett, "Lesiones del ligamento cruzado anterior en atletas femeninas: Parte 1, Mecanismos y factores de riesgo", se abordó la disparidad de género en el riesgo de lesión del LCA, proponiendo que era multifactorial. Se consideraron variables intrínsecas como diferencias anatómicas, hormonales, neuromusculares y mecánicas, así como variables extrínsecas. Identificar estos factores de riesgo podría orientar estrategias profilácticas.

El estudio de 2013 de W.Petersen , "Ruptura del ligamento cruzado anterior en mujeres deportistas", examinó casos de mujeres deportistas con rupturas del LCA, concluyendo que el aumento en el riesgo era multifactorial, destacando la necesidad de intervenir en factores de riesgo modificables.

En 2011 de J. Leyes, "Lesión del ligamento cruzado anterior en el fútbol femenino. Epidemiología de las tres estaciones", reveló tasas de lesiones del LCA de 2 a 4 veces más altas en jugadoras de fútbol que en jugadores masculinos. La incidencia fue mayor en partidos que en entrenamientos. Se señaló la importancia de estudios continuos para identificar jugadoras de alto riesgo y aplicar medidas preventivas en el fútbol femenino en constante crecimiento.

Justificación

La participación femenina en deportes en la República Argentina está en aumento(Encuesta Nacional sobre Actividad Física y Deporte 2021). Además se ha observado que las deportistas tienen una mayor prevalencia de lesiones de LCA en comparación con los hombres (Chandrashekar et al., 2006; Chandrashekar, et al., 2005), lo que genera preocupación en la comunidad deportiva y médica. La lesión del LCA es una de las lesiones más incapacitantes para el deportista, dado que para la recuperación del ligamento se requiere de una intervención quirúrgica, lo que conlleva un periodo de recuperación que oscila entre los 6 meses de recuperación, un tiempo muy largo si consideramos que una temporada suele tener una duración de 10 meses. Actualmente la cirugía ha avanzado notablemente pero la recuperación del deportista al máximo nivel todavía no está garantizada al 100%. Y además de ser una lesión de elevada incidencia, estas intervenciones también suponen una gran relevancia económica. Por lo tanto, se considera interesante analizar y exponer las posibilidades que existen para reducir en la medida de lo posible la incidencia de esta lesión en el ámbito deportivo, llevando a cabo un análisis de los factores de riesgo. En resumen, la investigación sobre los factores de riesgo femeninos de la lesión de LCA, junto con la

evaluación de diferencias hormonales, anatómicas y genéticas, así como la exploración de correlaciones neurofisiológicas y biomecánicas, es socialmente relevante debido al incremento de mujeres que hacen deportes y a su impacto en la salud, y personalmente significativa para los investigadores debido a la posibilidad de mejorar en la prevención de lesiones.

Objetivos

Objetivo general

Discriminar los factores de riesgo femeninos de la lesión de LCA.

Objetivos específicos

Evaluar diferencias anatómicas del volumen y longitud del LCA

Evaluar diferencias hormonales durante el ciclo menstrual.

Evaluar diferencias genéticas en la remodelación de tejidos.

Indagar en correlaciones con aspectos neurofisiológicos y biomecánicos.

Hipótesis

Las diferencias sexuales, en particular los factores hormonales, anatómicos y genéticos, y los aspectos neurofisiológicos y biomecánicos, influyen en la génesis de las lesiones del LCA en mujeres.

Marco teórico

La rodilla:

La rodilla es uno de los elementos del cuerpo humano más complejo a nivel de cómo está montado debido al diseño de la misma, llena de ligamentos que la cruzan, cada uno de los cuales aportan algo diferente a esta estructura. Es una articulación intermedia del miembro inferior, la cual principalmente, esta dotada de un solo sentido de libertad de movimiento- la flexión - extensión, que le permite acercar o alejar, más o menos, el extremo del miembro a su raíz o, lo que es lo mismo, regular la distancia que separa el cuerpo del suelo. En esencia, la rodilla trabaja comprimida por el peso que soporta. De manera accesoria, la articulación de la rodilla posee un segundo sentido de libertad: la rotación sobre el eje longitudinal de la pierna, que solo aparece cuando la rodilla esta en flexión. (Kapandji, A. I., 2010)

Considerado desde el punto de vista mecánico, la articulación de la rodilla constituye un caso sorprendente: debe conciliar dos imperativos contradictorios: - Posee una gran estabilidad en extensión completa, posición en la que la rodilla soporta presiones importantes, debidas al peso del cuerpo y a la longitud de los brazos de palanca. - Alcanza una gran movilidad a partir de cierto ángulo de flexión, movilidad necesaria en la carrera y para la orientación óptima del pie en relación con las irregularidades del terreno. La rodilla resuelve estas contradicciones merced a dispositivos mecánicos ingeniosos en extremo; sin embargo, la debilidad del acoplamiento de las superficies, condición necesaria para una buena movilidad, expone esta articulación a los esguinces y a las luxaciones.

Desplazamiento de la rótula sobre el fémur:

El movimiento normal de la rótula sobre el fémur durante la flexión es una translación vertical a lo largo de la garganta de la tróclea y hasta la escotadura intercondílea. El desplazamiento de la rótula equivale al doble de su longitud (8 cm.), y lo efectúa mientras gira en torno a un eje transversal: En efecto, su cara posterior, dirigida directamente atrás en posición de extensión, se orienta hacia arriba cuando la rótula, al final de su recorrido, se aplica, en la flexión extrema, debajo de los cóndilos. Por tanto se trata de una translación circunferencial. (Kapandji, A. I., 2010)

Desplazamientos de la rótula sobre la tibia:

Es la rótula fusionada con la tibia, formando una estructura similar al olécranon en el codo. Esta configuración limitaría significativamente la movilidad de la rótula con respecto a la tibia, incluso eliminando cualquier movimiento de rotación axial. Durante los movimientos de flexión y extensión, la rótula se desplaza en un plano sagital. Desde una posición extendida, retrocede y sigue un arco de circunferencia con un centro en la tuberosidad anterior de la tibia, con un radio igual a la longitud del ligamento rotuliano. Al mismo tiempo, se inclina aproximadamente 35 grados sobre sí misma, lo que provoca un movimiento de translación circunferencial respecto a la tibia. (Kapandji, A. I., 2010). Durante los movimientos de rotación axial, los desplazamientos de la rótula en relación con la tibia ocurren en un plano frontal. En la rotación interna, el fémur gira externamente en relación con la tibia, llevando la rótula hacia afuera, y el ligamento rotuliano se vuelve oblicuo hacia abajo y hacia adentro. En la rotación externa, el fémur dirige la rótula hacia adentro, y el ligamento rotuliano se orienta oblicuamente hacia abajo y hacia afuera, aunque más hacia afuera que en posición de rotación neutra.

Musculatura de la rodilla:

La musculatura que actúa sobre la rodilla es fundamental para la estabilidad y funcionalidad de esta articulación. En la vista anterior del muslo, se identifican músculos flexores ubicados en la parte posterior, como los isquiotibiales, el bíceps femoral, el músculo semimembranoso y el músculo semitendinoso, se originan en la pelvis y se insertan en la tibia y el peroné. El bíceps femoral se origina en el isquion y se bifurca en dos tendones, insertándose en la cabeza del peroné y el cóndilo lateral de la tibia. El semitendinoso y el semimembranoso se originan en el isquion, con el semimembranoso más profundo. El semitendinoso se inserta en la tuberosidad de la tibia. El semimembranoso se inserta medialmente a la tuberosidad de la tibia y también en la fascia crural. Estos músculos desempeñan un papel fundamental en la locomoción y la estabilidad de la articulación de la rodilla. Son antagonistas de los cuádriceps y juegan un papel crucial en la flexión de la rodilla y la extensión de la cadera. Además, su acción es vital para controlar la posición y el movimiento de la pelvis durante la marcha y otras actividades físicas (Kapandji, A. I., 2010). Además, se encuentran músculos accesorios como el poplíteo y el sartorio, este último con capacidad de contribuir tanto a la flexión como a la rotación interna de la rodilla. Por otro lado, en la parte anterior del muslo se hallan los

músculos extensores, destacando el cuádriceps compuesto por cuatro músculos: el recto femoral, el vasto medial, el vasto lateral y el vasto intermedio. Estos músculos son esenciales para la extensión de la rodilla. Su origen común es el fémur, con inserciones específicas en la parte anterior del muslo y en la rótula. El recto femoral se origina en la espina iliaca anteroinferior, mientras que los vastos se originan en la parte proximal del fémur, con el vasto lateral desde el trocánter mayor, el vasto intermedio desde el fémur lateral y el vasto medial desde el labio medial del límite intertrocanterico. Estos músculos convergen en el tendón del cuádriceps, que se inserta en la rótula y, a través del ligamento patelar, en la tuberosidad anterior de la tibia (Kapandji, A. I., 2010). La contracción del cuádriceps es esencial para la extensión de la rodilla y la estabilización de la rótula durante la marcha. Además de su papel en la locomoción, el cuádriceps participa en actividades cotidianas y deportivas, siendo crítico en el levantamiento y el salto. Además de los músculos flexores y extensores, se identifican aquellos que producen rotación externa e interna. Para la rotación externa, se destacan el tensor de la fascia lata y el bíceps femoral, mientras que para la rotación interna, intervienen el sartorio, el semitendinoso, el semimembranoso y el recto interno, así como el músculo poplíteo. (Kapandji, A. I., 2010)

El ligamento cruzado anterior (LCA):

La anatomía, fisiología e histología del LCA constituyen aspectos fundamentales en la comprensión de su estructura y función en la articulación de la rodilla. El LCA es un ligamento intraarticular pero extrasinovial, con inserción tibial en la superficie preespinal entre el cuerno anterior del menisco interno y el menisco externo, y femoral en la porción posterior del cóndilo femoral externo (Kapandji, A. I., 2010). Su dirección es oblicua hacia arriba, atrás y lateral, y se compone de dos o tres fascículos que experimentan diferentes tensiones según la flexión de la rodilla. Los fascículos identificados son el anteromedial y el posterolateral, con fibras que se tensan durante la flexión y la extensión, respectivamente. Además, algunos autores sugieren la presencia de un fascículo intermedio con cierta tensión a lo largo de toda la amplitud de movimiento de la rodilla. La torsión del ligamento se debe a que las fibras anteriores en la tibia se insertan inferiormente en el fémur, mientras que las posteriores en la tibia se insertan en la parte superior del fémur (Kapandji, A. I., 2010). Estudios de resonancia magnética nuclear (RMN) y análisis de muestras cadavéricas revelan que el diámetro del LCA varía entre 22 y 41 mm de longitud, con fibras anteriores

más largas, un ancho de 7 a 12 mm y un área de sección transversal entre 28 y 57 mm², siendo ligeramente mayor en la porción distal (Forriol F., 2008). El LCA desempeña un papel crucial como estabilizador en la articulación de la rodilla. Además de su función biomecánica, actúa como órgano sensorial propioceptivo con una abundancia de receptores propioceptivos. Informa a los músculos periarticulares sobre la posición de las superficies articulares, dirección y magnitud de las fuerzas aplicadas, permitiendo a los músculos proteger activamente las estructuras articulares. También evita el desplazamiento anterior de la tibia con respecto al fémur y limita los excesos en varo, valgo y rotaciones de la rodilla. Desde una perspectiva histológica, el LCA está compuesto por fibras de colágeno y elastina envueltas en una matriz de agua y proteoglicanos. La distribución de las fibras de colágeno no es uniforme, siendo el fascículo anterior más rico en colágeno que el posterior, y la porción central más que la distal y proximal. El LCA también alberga cuatro tipos de mecanorreceptores: terminaciones de Ruffini, corpúsculos de Pacini, terminaciones libres y corpúsculos de Golgi, que desempeñan un papel crucial en la percepción de factores estáticos y dinámicos, ángulo articular, velocidad, posición intraarticular, estiramiento y respuesta al dolor (Bullich S., 1996).

Vascularización e inervación:

La vascularización del LCA procede de la arteria geniculada media, una rama de la arteria poplítea, emergiendo por encima de la línea articular y dirigiéndose hacia adelante. Penetra el ligamento poplíteo oblicuo y llega al espacio intercondíleo, suministrando ramas terminales a los ligamentos cruzados, la sinovial, el tejido adiposo intercondíleo y la extremidad inferior del fémur. La inervación del LCA se realiza a través de las ramas colaterales articulares del nervio tibial o ciático poplíteo interno, una de las terminales del nervio ciático, que se desprenden antes de atravesar el arco tendinoso del sóleo (Ruiz Liard, A. y Latarjet M. 2010).

Biomecánica del LCA:

En el LCA, la variabilidad en longitud de las fibras, derivada de las extensas inserciones, conlleva a una distribución desigual de tensiones, afectando su elasticidad y resistencia. Las fibras, dispuestas en diversas direcciones, evidencian acciones complejas que contribuyen a

la estabilidad anteroposterior, lateral y rotatoria. Los ligamentos cruzados, esenciales para la estabilidad de la rodilla, permiten movimientos de charnela al mantener las superficies en contacto y facilitan el deslizamiento del cóndilo sobre las glenoides en sentido contrario al rodado durante el movimiento. Durante la flexión, el LCA orienta el cóndilo hacia adelante. En una posición inicial de extensión o mínima flexión de 30°, los ligamentos cruzados exhiben igual tensión; al flexionarse, la epífisis femoral báscula, horizontalizando el LCA y tensionando solo las fibras anteriores. En contraste, durante la extensión, todas las fibras del LCA se tensan, limitando la hiperextensión (Kapandji, A. I., 2010).

Definición de factor de riesgo:

La Organización Mundial de la Salud define factor de riesgo como cualquier rasgo, característica o exposición de un individuo que aumente su probabilidad de sufrir una enfermedad o lesión. El primero en utilizar el término fue el Dr. Thomas Royle Dawber en el área de la cardiología al identificar el tabaco y la hipertensión arterial a determinadas patologías cardiovasculares. Un factor de riesgo entonces es un predictor estadístico, y su utilidad está en predecir un evento, dar causalidad y dar herramientas para la prevención de dichos eventos.

Factores de riesgo de ruptura en la mujer:

Es importante identificar cuáles son los factores que aumentan la incidencia de ruptura de LCA en mujeres. Esta lesión es de origen multifactorial y por eso se clasificaron los factores en las siguientes categorías:

Factores anatómicos:

En los últimos años, los avances tecnológicos en estudios de imágenes como resonancia magnética nuclear y tomografía computarizada tridimensional han revelado diferencias anatómicas notables entre las rodillas femeninas y masculinas (Conley S., 2007). Se exploran aspectos de la epífisis distal del fémur, enfocándose en la forma, tamaño y angulación de la escotadura femoral. Asimismo, se examinan las características morfológicas de la epífisis proximal tibial, incluyendo las pendientes tibiales posteriores medial y lateral, la pendiente tibial coronal y la profundidad de la meseta tibial. Se abordan factores anatómicos vinculados a estructuras articulares como el cartílago y los meniscos, evaluando sus pendientes. Por

último, se investigan las características específicas del LCA, tales como su volumen, área de sección transversal y ancho. Según un estudio realizado por Shelbourne, Davis y Klootwyk (1986) observaron el ancho de la escotadura intercondílea en mujeres, encontrando menores dimensiones que en hombres, lo que podría provocar mayor tensión en el LCA. Por otro lado, Muneta, Takakuda y Yamamoto (1985) encontraron que el área transversal del LCA es significativamente mayor en hombres, lo que sugiere que un menor diámetro del LCA en mujeres puede ser un factor de riesgo de ruptura. También encontramos que la anchura de la cadera y la pelvis es mayor que en los hombres, lo que conlleva un ángulo Q mayor en las mujeres, los rangos normales oscilan de 8° a 17° (Kapandji, A. I., 2010). Al existir un ángulo Q elevado aumenta el estrés medial sobre los ligamentos de la rodilla. El ángulo Q o ángulo del cuádriceps es definido como la proyección formada por el ángulo entre el eje de la cabeza femoral y el centro de los cóndilos femorales en el plano transversal, éste refleja la línea de la fuerza resultante producida por el cuádriceps y la línea del tendón infrapatelar (Staheli, 1999 en Cardona y Osorio, 2008). En las mujeres, debido a la forma de la pelvis, éste ángulo se aumenta como resultado de la mayor anteversión femoral y rotación tibial externa, produciendo un valgo fisiológico (Wilk, Arrigo, Andrews y Clancy, 1999), que cuando supera los 15° en extensión se considera como un factor de riesgo anatómico importante que altera la mecánica y funcionamiento del miembro inferior.

Factores hormonales:

Durante los años fértiles de la mujer, se observan variaciones mensuales en la secreción hormonal y las alteraciones físicas en los órganos sexuales, constituyendo el ciclo menstrual. Con una duración aproximada de 28 días, aunque su extensión puede variar, los factores de riesgo hormonales, como el estrógeno, progesterona, testosterona y relaxina, influyen en la susceptibilidad a lesiones, particularmente en atletas. Aunque no son modificables, comprender su impacto es crucial para una intervención efectiva. Se consideran las fases del ciclo menstrual, dividido en preovulatoria, ovulatoria y postovulatoria, donde las fluctuaciones hormonales podrían influir en el riesgo. Además, se explora el papel de los anticonceptivos, que algunos investigadores sugieren como factor protector del ligamento cruzado anterior debido a su capacidad para regular hormonalmente el ciclo (Hall, J. E., & Guyton, 2016). En otros estudios, los investigadores reportaron un mayor número de lesiones de LCA durante la fase folicular u ovulatoria del ciclo menstrual, y concluyeron que las fluctuaciones hormonales deben ser consideradas como un posible factor que incrementa la incidencia de lesiones de LCA en las mujeres (Wotjys et al., 1998). La hormona relaxina,

según autores como Harmond y Ireland (2000), creen que podría contribuir al incremento de laxitud. Todos estos cambios hormonales podrían inducir a problemas en el control neuromuscular, como cambios en la fuerza de las extremidades, fatigabilidad muscular, y debilidad, en la fase pre-menstrual, lo que afectaría al control del movimiento y perjudicaría la habilidad de los músculos para proteger los ligamentos durante el movimiento (Rozzi, Lepar y Fu, 1999). Hay algún trabajo que ha mostrado menor lesionabilidad del LCA en mujeres que toman anticonceptivos orales frente a las que no los toman (Yanguas et al., 2011), pero no hay suficientes evidencias de que su toma tenga influencia en la prevención de lesiones del LCA.

Factores neuromusculares y biomecánicos:

Los factores neuromusculares y biomecánicos son los únicos susceptibles de modificación, sin obviar las consideraciones anatómicas o hormonales mencionadas anteriormente. El control neuromuscular implica la coordinación muscular, crucial para la estabilización adecuada de las articulaciones durante actividades deportivas intensas. Las investigaciones se enfocan en la actividad muscular durante gestos biomecánicos y la cinemática, como aterrizajes o cambios de dirección, riesgosos sin control neuromuscular. Se analizan las fuerzas musculares en contracciones concéntricas y excéntricas, las relaciones cuádriceps-isquiotibiales, las fuerzas de reacción al suelo, y se evalúa la laxitud articular como parte de los factores biomecánicos, entendiendo que su variación se relaciona con cambios en la biomecánica del tejido conectivo que compone el ligamento. Los desequilibrios neuromusculares son definidos como los modelos de activación que pueden aumentar la carga en la articulación (Hewett et al., 2005). Estos pueden ser debido a deficiencias de entrenamiento, influencias hormonales o diferencias de crecimiento y desarrollo (Hewett, Myer y Ford, 2001). Esta última causa es tal vez la más importante, y el principal origen de los desequilibrios neuromusculares, ya que antes de los 14 años no se han evidenciado diferencias de género en el miembro inferior, pero después de esta edad los chicos presentan mayor fuerza, mientras que la meseta en el pico de fuerza de las chicas ocurre alrededor de los 16 años (Hewett et al., 2005). La acción negativa del desequilibrio neuromuscular sobre la funcionalidad del miembro inferior, radica en que limita la acción activa del sistema de control muscular, la cual trabaja sinérgicamente con las estructuras de restricción pasiva articular, para crear estabilidad dinámica de rodilla, cuando no sucede esta sinergia puede aumentar el riesgo de sufrir lesión en el LCA (Hewett et al., 2005). Según

Hewett et al., (2005), existen tres desequilibrios neuromusculares que afectan en mayor proporción a las mujeres, estos son: -Dominancia ligamentaria: ocurre cuando la deportista aterriza de un salto y se visualiza un aumento en el movimiento medial de la rodilla, el cual resulta en un excesivo ángulo valgo (valgo dinámico). - Dominancia del cuádriceps: este es un desequilibrio entre los patrones de activación del cuádriceps y los isquiotibiales. En este caso, las mujeres generalmente, activan preferentemente el cuádriceps que los isquiotibiales para realizar los movimientos deportivos, ésta preferencia genera mayor fuerza sobre la articulación provocando mayores momentos de flexión y valgo en las rodillas, incrementando el estrés del LCA. -Dominancia del miembro inferior: es un desequilibrio entre la fuerza muscular, la flexibilidad y la coordinación de las extremidades inferiores. Generalmente, se exhibe mayor fuerza y coordinación en el miembro dominante. Según Hewett et al. (2001) el miembro dominante demuestra mayor ángulo valgo que el no dominante, éste desequilibrio es un indicativo que puede predisponer a la lesión de LCA. También, demostró que los menores picos de fuerza se dan en los isquiotibiales del miembro no dominante y su mejoría en un entrenamiento pilométrico (Hewett et al., 1996 en Cardona et al., 2008).

Factores genéticos:

Las variaciones genéticas pueden hacer que algunas personas sean más propensas a estas lesiones. Las metaloproteinasas de matriz (MMP) son cruciales para la remodelación de la matriz extracelular (MEC), y su desregulación puede llevar a alteraciones y lesiones (Hall, J. E., & Guyton, 2016) . Variantes en los genes MMP han sido asociadas con trastornos musculoesqueléticos como artritis reumatoide y osteoartritis. La expresión de genes de remodelación de tejidos, incluyendo colágenos, metaloproteasas de matriz (MMP) e inhibidores tisulares de las MMP (TIMP) podrían estar vinculados a la susceptibilidad de las atletas femeninas a las lesiones del LCA. Además de los polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) en genes específicos, como COL5A1, asociados con lesiones de músculos, tendones y ligamentos, los cuales se señala una asociación significativa entre el genotipo rs13946 y las lesiones del LCA, especialmente en mujeres(Lulinska et al., 2020).

Epidemiología:

La epidemiología de las lesiones del LCA ha sido objeto de numerosos estudios, destacando una incidencia 4 a 6 veces mayor en mujeres que en hombres . Esta disparidad puede atribuirse a variables como nivel de competencia, deporte practicado, edad y tipo de

exposición (prácticas/competencia). Aunque en Argentina no existen registros, en Estados Unidos se estima que afecta a más de 120,000 atletas femeninas al año. Un estudio retrospectivo realizado por el servicio médico del Fútbol Club Barcelona evaluó la incidencia de lesiones de LCA en tres temporadas consecutivas (2007-2010) en sus equipos femeninos, registrando incidencias de 0.33, 0.25 y 0.29 lesiones por 1,000 horas de exposición, respectivamente. La media de edad fue 18.39, 18.37 y 20.22 años en las tres temporadas, respectivamente, con mayores incidencias durante los partidos que en las prácticas. En un trabajo de Benis et al (2016) informaron sobre 74 lesiones de LCA en 352 jugadoras de básquet femenino, con una edad promedio de lesión a los 20 años. El 72.9% de las lesiones ocurrieron durante la competencia, siendo más frecuentes en la segunda mitad de los juegos (66.9%). Además, la prevalencia varía según el nivel de competencia, siendo mayor en las mujeres. En un meta-análisis, Prodromos et al. (2007) evaluaron la incidencia de lesiones de LCA según género, deporte y nivel de competencia. En básquet universitario, la incidencia fue de 0.29 en mujeres y 0.08 en hombres, con una prevalencia 3.63 veces mayor en mujeres. En el fútbol universitario, la incidencia fue de 0.32 en mujeres y 0.12 en hombres, con una prevalencia de 2.67. El estudio también observó que aumentando el nivel de competencia, la paridad en las lesiones de LCA tiende a incrementarse. En un estudio de Joseph et al. (2013) encontraron que en deportes como fútbol, básquet, béisbol y softbol, las niñas sufren más lesiones de LCA que los niños, con incidencias de 8.9 y 2.6, respectivamente, por cada 100,000 exposiciones. En otro estudio de Beynnon et al.(2005) hallaron que las mujeres tienen más del doble de probabilidades de sufrir una lesión de LCA que los hombres, con incidencias de 0.11 y 0.06, respectivamente, por cada 1,000 exposiciones, independientemente del deporte. En un estudio de Agel et al.(2005) actualizaron el sistema de vigilancia de lesiones de la National Collegiate Athletic Association Schools, encontrando una prevalencia 2.7 veces mayor en mujeres que practican básquet. En hockey sobre hielo, la prevalencia no difiere significativamente entre géneros, pero en lacrosse, la prevalencia es 1.8 veces mayor en mujeres. En fútbol, la prevalencia de lesiones de LCA es 2.6 veces mayor en mujeres. En cuanto a los mecanismos de lesión, aproximadamente el 70% de las lesiones de LCA ocurren sin contacto, aunque la definición puede variar entre estudios. Se reportaron que el 78.3% de las lesiones en basquetbolistas italianas fueron sin contacto. En el estudio de Takahashi et al. (2019) clasificaron los mecanismos de lesión en contacto y sin contacto, encontrando que el 55.8% de las lesiones en mujeres fueron sin contacto. Por otro lado, Alanís-Blancas et al. (2012) encontraron que el 74% de las lesiones en mujeres fueron sin contacto.

Marco metodológico

Se presentan a continuación los enfoques metodológicos destinados a abordar el objetivo principal de discriminar los factores de riesgo femeninos de la lesión de LCA. Es importante destacar que esta propuesta se centra en una revisión bibliográfica que implica un análisis de la literatura científica existente.

Tipo de estudio: Revisión bibliográfica

Técnicas e instrumentación de recolección de datos

La presente investigación realiza una revisión bibliográfica de los últimos 5 años sobre los factores de riesgo femeninos de la lesión de LCA. Para llevar a cabo la búsqueda, se utilizaron combinaciones de las palabras clave en Google Scholar, con un enfoque temporal que abarca el período de 2019 a 2024, con sus variantes también en inglés

Unidad de análisis

La unidad de análisis está compuesta por una variedad de fuentes, que incluyen estudios, tesis de grado, proyectos de investigación y literatura disponible, todos los cuales se centran en el tema de los factores de riesgo femeninos de la lesión de LCA.

Categorías

Anatomía del LCA: se plantea que las mujeres tienen un LCA más pequeño en volumen en comparación con los hombres. Además, la longitud del LCA muestra ligeras diferencias entre hombres y mujeres. La información se centra en aspectos cuantitativos, como el volumen y la longitud, y en la relación de estas medidas con variables como el sexo, el peso y otros factores.

Constitución genética: se centra en la expresión de genes de remodelación de tejidos, incluyendo colágenos, metaloproteasas de matriz (MMP) e inhibidores tisulares de las MMP (TIMP) que podrían estar vinculados a la susceptibilidad de las atletas femeninas a las lesiones del LCA. Además, se hace referencia a los polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) en genes específicos, como COL5A1, asociados con lesiones de músculos, tendones y ligamentos. En este caso, se señala una asociación significativa entre el genotipo rs13946 y las lesiones del LCA, especialmente en mujeres.

Ciclos hormonales en la menstruación: hace referencia a la existencia de diferencias de sexo en el riesgo de lesionar el LCA , sugiriendo que puede atribuirse a cambios en la laxitud de las articulaciones a lo largo del ciclo menstrual.

Aspectos biomecánicos: sugiere que las mujeres presentan mayores fuerzas de reacción vertical del suelo y ángulos de valgo de la rodilla durante maniobras específicas, observando que desarrollan patrones de movimiento más perjudiciales para el LCA.

Aspectos neuromusculares: pueden aumentar el riesgo de lesión del LCA en mujeres el retraso en la activación del cuádriceps, una mayor activación del cuádriceps y una menor activación de los isquiotibiales, así como proporciones más altas de co-contracción del cuádriceps/isquiotibiales.

Matriz de datos

Autor/Categoría	Anatomía del LCA	Constitución genética	Ciclos hormonales en la	Aspectos biomecánicos	Aspectos neuromusculares
-----------------	------------------	-----------------------	-------------------------	-----------------------	--------------------------

			menstruación		
Barnett, et al. (2021)	evidenció que las mujeres tienen un LCA más reducido en volumen	X	X	X	X
Ellison, et al., (2021)	se destaca la necesidad de comprender variables intermedias entre la lesión y condiciones anatómicas	X	X	X	X
Ashton, et al., (2023)	X	revelan diferencias de sexo en la expresión génica relacionada con la remodelación de tejidos	X	X	X
Lulińska, et al. (2020)	X	exploran variantes de secuencia en genes en relación con el riesgo de rupturas del LCA sin contacto	X	X	X
Rodas, et al, (2023)	X	busca evaluar el riesgo de rotura del LCA sin contacto en	X	X	X

		futbolistas de élite, considerando polimorfismos de un solo nucleótido			
Hart, et al., (2023)	X	X	Destaca que las variaciones hormonales, especialmente durante el ciclo menstrual, pueden afectar la laxitud de las articulaciones	X	X
Petrovic, et al., (2020)	X	X	X	plantea que las niñas mostrarían mayores fuerzas de reacción vertical del suelo y ángulos de valgo de la rodilla	X
Sinclair et al., (2019)	X	X	X	X	durante el salto, las mujeres exhibieron fuerzas máximas del LCA y tensiones significativamente mayores en comparación con los hombres

Marotta et al., (2019)	X	X	X	X	revelaron un retraso de activación en mujeres, especialmente en el vasto medial
Kakavas et al., (2020)	X	X	X	X	Se revelaron mayores activaciones en áreas cerebrales específicas en sujetos con deficiencia del LCA que no volvieron a niveles previos de actividad física
Otsuki et al, (2021)	X	X	X	X	las mujeres exhiben mayor activación del cuádriceps antes y después del aterrizaje, y menor activación de los isquiotibiales

Análisis y resultados

Factores anatómicos

El estudio de Barnett et al. (2021) titulado "ACL Size, but Not Signal Intensity, Is Influenced by Sex, Body Size, and Knee Anatomy" plantea una investigación sin un objetivo claramente definido, aunque establece dos hipótesis centrales. Estas hipótesis sugieren que las mujeres poseen LCA más pequeños y una mayor intensidad de señal normalizada en imágenes de resonancia magnética (IRM) en comparación con los hombres. Además, postulan que el tamaño del LCA y la intensidad de la señal están asociados con diversos factores como la edad, niveles de actividad, índice de masa corporal (IMC), ancho bicondilar, ancho de la muesca intercondilar y la pendiente posterior de la meseta tibial lateral. La investigación se llevó a cabo mediante IRM en una sola rodilla, utilizando una muestra total de 108 participantes, de los cuales 62 eran mujeres. Se cuantificó la intensidad de la señal normalizada por la superficie cortical de los huesos y el volumen del ligamento. Los análisis multivariados se centraron en interpretar las diferencias relacionadas principalmente con el sexo, peso, edad, niveles de actividad e IMC. Los resultados revelaron que las mujeres tienen un LCA más pequeño en volumen en comparación con los hombres. La diferencia se hace más notoria a medida que los ligamentos crecen, destacando una discrepancia sustancial en volúmenes mayores. Sin embargo, la investigación también señala que no hay diferencias en la intensidad de la señal de resonancia magnética entre hombres y mujeres, sugiriendo que no existen distinciones en la calidad del tejido y, por ende, en la cantidad de colágeno. En cuanto a la longitud, se observaron ligeras diferencias, aunque las mediciones femeninas se sitúan dentro de los valores promedio establecidos por otras investigaciones. Los autores plantean la asociación del ancho de la muesca intercondilar y la pendiente tibial lateral con el tamaño del LCA, sugiriendo una posible explicación parcial de su influencia en el riesgo de lesión del LCA. Aunque estas observaciones se presentan como hipotéticas, la investigación destaca la complejidad y diversidad de factores que pueden influir en la morfología del LCA existe una influencia parcial respecto a características anatómicas, particularmente el reducido volumen de LCA en casos femeninos con lesiones. En este sentido, la investigación evidenció varones con un rango entre 2028 ± 472 mm³ (milímetro cúbico), mientras que las mujeres, un rango entre 1591 ± 405 mm³. No obstante, tal como se evidencia, no se aplicaron medidas de

asociación ni de correlación según los grupos, con lo cual, es una conclusión hipotética. Considerando otras investigaciones, existe consenso respecto a que la longitud media del LCA, tomada desde su tercio medio, oscila entre 31 y 38 mm. (Girgis et al., 1975; Odensten, Gillquist, 1985; Penner, et al., 1988). Paradójicamente, los ligamentos estudiados femeninos, cuentan con un valor límite similar al promedio, con lo cual, la diferencia debería evaluarse si es sustancial.

Por otro lado, Ellison, et al., (2021) en “Sexual Dimorphisms in Anterior Cruciate Ligament Injury. A Current Concepts Review”, realizan una revisión bibliográfica sobre qué se sabe respecto a los dimorfismos según sexo en la lesión del LCA para guiar las estrategias de tratamiento y prevención y las investigaciones futuras. Al respecto, la investigación concluye que, las atletas tienen un riesgo significativamente mayor de sufrir lesiones del LCA que sus homólogos masculinos, pero las razones exactas de esto no estaban claras. De manera tal, que la investigación coincide con la cuestión de la problematización y respecto a las variables intermedias entre lesión y condiciones a priori (anatómicas, etc.) para dar cuenta de cómo funciona el fenómeno.

Factores genéticos

Considerando aspectos genéticos, Ashton, et al., (2023) en “Degraded RNA from Human Anterior Cruciate Ligaments Yields Valid Gene Expression Profiles” asegura que los estudios de perfiles de ARN (molécula de cadena simple que se sintetiza usando como molde una de las hebras del ADN de un gen) utilizando tejidos frescos o frescos congelados han identificado diferencias de sexo en la expresión de genes de remodelación de tejidos, incluidos colágenos, metaloproteasas de matriz (MMP), e inhibidores tisulares de las MMP (TIMP) que pueden ser la base de la susceptibilidad de las atletas a sufrir una lesión del LCA.

Asimismo, Lulińska, et al. (2020) en “Matrix Metalloproteinase Genes (MMP1, MMP10, MMP12) on Chromosome 11q22 and the Risk of Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Ruptures”, se da en el contexto de los estudios de variantes de secuencia dentro de los genes de las metaloproteinasas de la matriz dentinaria (familia de 25 endopeptidasas zinc

dependientes encargadas de escindir los componentes inmediatos de la matriz extracelular) como antecedente biológico del riesgo de rotura del ligamento cruzado anterior. Es importante aclarar que, la matriz extracelular, es una cadena de proteínas y otras moléculas que rodean, sostienen y dan estructura a las células y tejidos del cuerpo. Al respecto, la investigación, advierte que el estudio, no respalda la evidencia existente que sugiere que las variantes dentro de los genes MMP1, MMP10 y MMP12 influyen en el riesgo de ruptura del LCA sin contacto. Para considerarlo en términos de los casos femeninos, es importante destacar que la estromelisina-2 (MMP10) degrada una variedad de proteínas de la matriz extracelular, incluido el colágeno de tipos III a V, gelatina, caseína, agrecano, elastina y fibronectina. De aquí, sus resultados son relevantes, ya que, si bien, la estromelisina-2(MMP10) podría estar asociado a una caída del nivel de colágeno en los ligamentos, tal como proponen investigaciones previas a la presente revisión bibliográfica.

Rodas et al, (2023) en “Sex Differences in the Association between Risk of Anterior Cruciate Ligament Rupture and COL5A1 Polymorphisms in Elite Footballers” propone como objetivo general, evaluar el riesgo específico por sexo de rotura histórica del LCA sin contacto considerando SNP (polimorfismos de un solo nucleótido, en genes de colágeno) candidatos en genes (COL5A1) previamente asociados con lesiones de músculos, tendones, ligamentos y LCA en futbolistas de élite. En base a tal objetivo, se realizó un diseño de estudio, con una búsqueda de asociación genética . Como muestra se buscaron 36 futbolistas que jugaron en el primer equipo del FC Barcelona (España) durante la temporada 2020-21. Respecto al procedimiento de investigación, se evalúa la asociación entre antecedentes de rotura del LCA sin contacto antes de julio de 2022 y 108 SNP seleccionados con antecedentes de rotura del LCA, estratificados por sexo. Es importante aclarar que, el gen COL5A1, cuenta con dos polimorfismos: BstUI (C>T, rs12722); DpnII (C>T, rs13946). Ahora bien, respecto a quienes tuvieron un antecedente de rotura del LCA sin contacto, siete mujeres (29%) y un hombre (4%) participantes tienen esa condición. Asimismo, aseguran que encontraron una asociación significativa entre el genotipo rs13946 y la lesión del LCA en futbolistas ($p = 0,017$). Es de considerar que el valor de p , en el marco de la estadística, cuando es superior a 0,05, indica que la hipótesis nula (la que valida el sentido común y es contraria a la propuesta de la investigación) no es válida, mientras que se confirma la hipótesis alternativa. De manera que el gen vinculado a la producción de ciertos tipos de colágeno, estarían asociados en una muestra de casos mujeres, con antecedentes de lesiones en LCA sin contacto.

Factores hormonales

Ahora bien, respecto a la cuestión hormonal, Hart (2023) en “Sex differences in musculoskeletal injury and disease risks across the lifespan: Are there unique subsets of females at higher risk than males for these conditions at distinct stages of the life cycle?”, establece en realidad a una diferenciación de sexo en cuanto a enfermedades del sistema musculoesquelético, así como en el riesgo de lesiones en los tejidos del sistema musculoesquelético. En este sentido, asegura que se han observado diferencias de sexo en cuanto al riesgo de lesionar elementos del sistema MSK, por ejemplo, lesiones en el ligamento cruzado anterior de la rodilla, y que parte del riesgo de esto último puede atribuirse a cambios en la laxitud de las articulaciones a lo largo del ciclo menstrual, mientras que otros pueden estar relacionados con problemas de función muscular entre mujeres y hombres. No obstante, el autor también aclara que, no se ha caracterizado la base de todos los riesgos relacionados con lesiones que presentan diferencias de sexo en la incidencia. Si bien es un factor, no es un predominante para las lesiones en estudio. Ahora bien, también puede interpretarse que cualquier evento, puede implicar múltiples factores. De manera tal, puede ser un aspecto que en términos acumulativos en relación a otros, pueden lograr como resultado, una lesión de tales características. De esta manera, se entiende que la cuestión de la diferenciación respecto a los aspectos hormonales, tiene que ver particularmente, con ciertos periodos en las mujeres.

Factores biomecánicos

Asimismo, sobre los aspectos biomecánicos, Petrovic, et al., (2020) en “Effect of Sex on Anterior Cruciate Ligament Injury–Related Biomechanics During the Cutting Maneuver in Preadolescent Athletes”, propone como hipótesis de trabajo, que las niñas demostrarían mayores fuerzas de reacción vertical del suelo y ángulos de valgo de la rodilla. Asimismo, investigaron que la intervención de ejercicio afectaría más a las niñas que a los niños y que esto se demostraría principalmente en menos excursiones en el plano sagital, mayores fuerzas de reacción vertical del suelo y momentos de valgo de rodilla en las niñas que en los niños. El estudio se realizó de manera aislada en laboratorio. En este sentido, se reclutaron jugadores de fútbol y basket ($n = 288$, con un rango de edad de 9-12 años). Con lo que respecta a la recolección de datos, se utilizó un sistema de captura de movimiento sincronizado con una plataforma de fuerza para registrar 5 ensayos de una maniobra de corte antes y después de

una intervención de fatiga de 5 minutos. Con lo que respecta a los resultados, los niños mostraron un mayor momento máximo de valgo de la rodilla (deformidad de las rodillas que, al quedar juntas, hacen que las piernas formen una X) , un momento máximo de rotación interna de la rodilla , excursión de rotación de la rodilla, y una excursión de extensión de rodilla en comparación con la de las niñas. Lo que daría la pauta que los niños tienen mayor condiciones biomecánicas para resistir ciertos riesgos de lesiones sobre el LCA. En base a estas conclusiones, los investigadores proponen que las diferencias detectadas en los factores biomecánicos durante la maniobra de corte no apuntan a un mayor riesgo de lesión del LCA para las niñas prepúberes o púberes tempranas que para los niños. No obstante, las niñas desarrollan patrones de movimiento más perjudiciales en la adolescencia que los niños en términos de factores de riesgo biomecánicos. Lo que pone en discusión entonces, la linealidad de la conclusión de la prevalencia de las lesiones por aspectos biomecánicos. Si bien, las condiciones son distintas por sexo, ello no implica que necesariamente estarán sujetas a lesiones, sino tienen que ver con los niveles de actividad, exigencia y riesgo. Evidenció que los varones mostraron un mayor momento máximo de valgo de la rodilla (deformidad de las rodillas que, al quedar juntas, hacen que las piernas formen una X) (0,26 frente a 0,22 Nm/kg, respectivamente), un momento máximo de rotación interna de la rodilla (−0,13 frente a −0,10 Nm/kg.), excursión de rotación de la rodilla. (−7,9 frente a −6,9, respectivamente) y una excursión de extensión de rodilla (2,7 frente a 1,4, respectivamente; $p < 0,001$) en comparación con la de las niñas. Lo que daría la pauta de que los niños tienen mayor condiciones biomecánicas para resistir ciertos riesgos de lesiones sobre el LCA. Pero, lo que no implica una condición necesaria para las lesiones en las mujeres

Factores neuromusculares

Sinclair (2019) en “Sex differences in ACL loading and strain during typical athletic movements: a musculoskeletal simulation analysis” proponen una investigación para examinar las diferencias de sexo en los parámetros de carga del LCA durante los movimientos de corte y salto. Respecto a estos aspectos biomecánicos, se utilizó como metodología, un abordaje cuantitativo, considerando quince participantes masculinos y quince femeninos que completaron movimientos con inicio de oposición en 45° y movimientos máximos de salto con una sola pierna. Se obtuvieron datos de captura de movimiento tridimensional y fuerza de reacción del suelo durante la fase de postura del movimiento de corte y la fase de aterrizaje del salto con una sola pierna. Este abordaje, se

denomina simulación musculoesquelética. De aquí, se realiza un cálculo de la fuerza de los músculos de las extremidades inferiores, las fuerzas del LCA y las tensiones del LCA. Sobre los resultados, sobre el movimiento de salto, las mujeres se asociaron con fuerzas máximas del LCA significativamente mayores (hombres = 15,01 N/kg y mujeres = 15,70 N/kg) y tensiones (hombres = 6,87 % y mujeres = 10,74 %). Además, tanto para los movimientos de posición en 45° (masculino = 4,45 y femenino = 1,45). No obstante, la investigación también concluyó que la relación sóleo/gastrocnemio fue significativamente mayor en los varones. En efecto, en términos de conclusiones, la investigación no pone en evidencia que en aspectos biomecánicos, haya diferencias sustanciales entre varones y mujeres.

Investigaciones actuales sobre aspectos neuromusculares, han profundizado respecto a la activación de los cuádriceps en actividades físicas y su relación con lesiones en el LCA. Sobre ello, Marotta et al., (2019) en “Late Activation of the Vastus Medialis in Determining the Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury in Soccer Players” proponen como objetivo de investigación, comparar el tiempo de activación de los músculos cuádriceps e isquiotibiales durante un movimiento que ejerce presión sobre el LCA para evaluar el riesgo de lesión del LCA. Fue una investigación con aislamiento de variables, por tanto experimental. Asimismo, se tomó como participantes 20 personas (equitativas según sexo). Asimismo, la lógica de intervención fue a través de lo que se denomina electromiografía. Es el registro a través de un sensor inercial y 4 electrodos colocados en los músculos cuádriceps e isquiotibiales. El protocolo de investigación fue, que “el atleta apoyado sobre una pierna se dejó caer, desde una plataforma de 32 cm. de altura, sobre el pie suspendido (pierna de prueba), sin saltar ni bajar su centro de gravedad y manteniendo el aterrizaje con una sola pierna durante 5 segundos”. En base a un software se procede a evaluar el tiempo de activación de musculación implicada en cuádriceps e isquiotibiales antes del contacto con el suelo: recto femoral, vasto medial (VM), bíceps femoral y semimembranoso. Respecto a los resultados, la investigación pone en evidencia que las mujeres cuentan con un retraso de activación de la zona de cuádriceps e isquiotibiales. Sobre ello, el relevamiento concluye que el retraso en la activación del VM registrado en el sexo femenino determina un aumento de la fuerza de corte anterior, lo que es un factor de riesgo importante para sufrir una lesión del LCA. Asimismo, destacan que el protocolo de estudio, también es indicado para realizar un relevamiento, para

la detección temprana de probabilidad de lesión en base a aspectos neurofisiológicos. Respecto a los resultados, todos los jugadores de fútbol masculinos demostraron un riesgo bajo relacionado con la activación correcta de todos los músculos examinados, mientras que las jugadoras de fútbol demostraron un retraso en la activación del VM. En base a ello, los investigadores concluyen que el retraso en la activación del VM registrado en el sexo femenino determina un aumento de la fuerza de corte anterior, lo que es un factor de riesgo importante para sufrir una lesión del LCA. Este protocolo de prueba resulta adecuado para la detección de atletas de alto riesgo y para dirigir intervenciones a desequilibrios específicos que pueden aumentar el riesgo de lesiones.

Kakavas et al., (2020) en “Neuroplasticity and Anterior Cruciate Ligament Injury” realiza una distinción respecto a los aspectos de neuroplasticidad, que son previos al control neuromuscular. En este sentido, realizan una aclaración en base a ciertos estudios (Swanik, et al., 2007; Butler, et al., 1980; Nigg, et al., 1999), donde se destaca que después de una rotura del LCA, el sistema nervioso central puede aumentar su dependencia de fuentes sensoriales alternativas, como la retroalimentación visual y la conciencia espacial. Sobre ello, Butler, et al., (1980) utilizó neuroimagen para cuantificar las diferencias en la activación cerebral entre sujetos con deficiencia de LCA que no regresaron a los niveles anteriores de actividad física y un grupo de control sano. Los sujetos con deficiencia de LCA exhibieron una mayor activación en la circunvolución temporal posteroinferior (procesamiento visual), el área motora presuplementaria (planificación motora) y el área somatosensorial secundaria (dolor y procesamiento sensorial). Si bien, no se realizan distinciones de sexo, este aspecto, puede ser considerado para quienes tienen lesiones, como efectos pre neurofisiológicos. Es decir, aspectos de neuroplasticidad, que se construyen en base a la deficiencia en la información de la actividad del ligamento. Kakavas et al., (2020) sugieren en realidad, que la lesión también, se produce por una “excitabilidad deprimida de la corteza motora” la cual es desarrollada posterior a la lesión para lograr o tener efectos en el impulso motor.

Otsuki, Del Bel, Benoit (2021) en “Sex differences in muscle activation patterns associated with anterior cruciate ligament injury during landing and cutting tasks: A systematic review”, proponen como objetivo general, para dar cuenta de la cuestión de la activación muscular por parte del sexo femenino. Aspecto también evaluado por Marotta et al., (2019). En este sentido, se propone como objetivo, sintetizar las diferencias de sexo en los patrones de activación muscular en los movimientos asociados con lesiones del LCA en poblaciones

adultas y adolescentes. En este sentido, el procedimiento no fue un relevamiento con datos primarios sino más bien, una revisión bibliográfica considerando 30 estudios. Los autores asumen que es un tema polémico actual, y que es necesario realizar una síntesis al respecto. Respecto a los resultados, Otsuki, et al., (2021) a través de la revisión concluyeron que las mujeres demostraron una mayor activación del cuádriceps antes y después del aterrizaje y una menor activación de los isquiotibiales en 15 estudios. Las mujeres también tuvieron proporciones de co-contracción del cuádriceps/isquiotibiales más altas durante las fases previas y posteriores al aterrizaje en comparación con sus homólogos masculinos en 4 de 9 estudios que consideraron la co-contracción.

Asimismo, si bien algunos estudios respaldan las estrategias de activación dominante del cuádriceps en las mujeres, no se puede llegar a un consenso debido a ciertas inconsistencias metodológicas. Lo que supone que, la evidencia sobre la diferencia sexual en los patrones de activación muscular en esta población es insuficiente para sacar conclusiones significativas.

Conclusiones

La presente investigación tiene como objetivo general, diferenciar o discriminar los factores de riesgo femeninos de la lesión de LCA. Asimismo, como objetivos específicos, se propuso evaluar diferencias hormonales, anatómicas y genéticas, e indagar en correlaciones con aspectos neuromusculares y biomecánicos. Con lo que respecta a la hipótesis, de que las diferencias sexuales, en particular los factores hormonales, anatómicos y genéticos, y los aspectos neurofisiológicos y biomecánicos, influyen en la génesis de las lesiones del LCA en mujeres, se concluye que hace falta evidencia científica para corroborar tal hipótesis. Se encontraron indicios de que la anatomía de la articulación de la rodilla puede variar según el sexo, con un posible vínculo entre el tamaño del LCA y el riesgo de lesiones. En los aspectos hormonales, hemos observado que si bien existen diferencias en la laxitud de las articulaciones a lo largo del ciclo menstrual, este factor no parece ser un determinante predominante en las lesiones de LCA. En los aspectos genéticos, hemos identificado algunas diferencias en la expresión de genes relacionados con la remodelación de tejidos que podrían

estar vinculadas a la susceptibilidad de las atletas a sufrir lesiones de LCA. En aspectos biomecánicos si bien hay diferencias en ciertos parámetros entre hombres y mujeres, estas diferencias no parecen ser determinantes sustanciales para las lesiones de LCA. En cuanto a los aspectos neuromusculares, hemos observado que el tiempo de activación de los músculos cuádriceps e isquiotibiales segun el sexo puede desempeñar un papel importante en el riesgo de lesión de LCA. Si bien hemos arrojado luz sobre varios factores potencialmente influyentes, es importante destacar que las lesiones de LCA son eventos multifactoriales y complejos que requieren una investigación continua para comprender completamente su naturaleza.

Bibliografía

Lulińska, E. et al. (2020). Matrix Metalloproteinase Genes (MMP1, MMP10, MMP12) on Chromosome 11q22 and the Risk of Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Ruptures. *Genes* 2020, 11, 766

Ellison TM, Flagstaff I, Johnson AE. (2021). Sexual Dimorphisms in Anterior Cruciate Ligament Injury: A Current Concepts Review. *Orthop J Sports Med. Dec 17;9(12)*.

Ruiz, J. I. (2020). Revisión: Factores de riesgo que aumentan la prevalencia de lesiones de ligamento cruzado anterior en mujeres deportistas. https://rid.unrn.edu.ar/bitstream/20.500.12049/5846/1/Ruiz_Juan_Ignacio-2020.pdf

Barnett, S., Murray, M. Flannery, S., Menghini, Fleming, B., Kiapour, A. (2021). ACL Size, but Not Signal Intensity, Is Influenced by Sex, Body Size, and Knee Anatomy. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(12).

Hart, D. A. (2023). Sex differences in musculoskeletal injury and disease risks across the lifespan: Are there unique subsets of females at higher risk than males for these conditions at distinct stages of the life cycle? *Front. Physiol.* 14:1127689.

Ellison, T., Ilexa Flagstaff, M., MD, Johnson, A. (2021). Sexual Dimorphisms in Anterior Cruciate Ligament Injury. A Current Concepts Review. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(12).

Rodas, G.; Cáceres, A.; Ferrer, E.; Balagué-Dobón, L.; Osaba, L.; Lucia, A.; González, J.R. (2023). Sex Differences in the Association between Risk of Anterior Cruciate Ligament Rupture and COL5A1 Polymorphisms in Elite Footballers. *Genes*, 14, 33.

Petrovic, M., Sigurðsson, H., Sigurðsson, H., Sveinsson, T., Briem, K. (2020). Effect of Sex on Anterior Cruciate Ligament Injury–Related Biomechanics During the Cutting Maneuver in Preadolescent Athletes. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(7).

Marotta N, Demeco A, de Scorpio G, Indino A, Iona T, Ammendolia A. (2019). Late Activation of the Vastus Medialis in Determining the Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury in Soccer Players. *J Sport Rehabil. Nov 7;29(7):952-955*.

Kakavas, G., Malliaropoulos, N., Pruna, R., Traster, D., Bikos, G., Maffulli, N. (2020). Neuroplasticity and Anterior Cruciate Ligament Injury. *Indian Journal of Orthopaedics*, 54, pp. 275–280.

Otsuki, R., Del Bel, M., Benoit, D. (2021). Sex differences in muscle activation patterns associated with anterior cruciate ligament injury during landing and cutting tasks: A systematic review. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34392010/>

Sinclair, J. K. (2019). Sex differences in ACL loading and strain during typical athletic movements: a musculoskeletal simulation analysis. <https://clok.uclan.ac.uk/25589/5/25589%20PAPER%2520ACL-2.pdf>

