



Control neuromuscular de extremidad inferior, como factor de riesgo en la lesión de ligamento cruzado anterior en jugadores de baloncesto

Neuromuscular control of the lower extremity as a risk factor for anterior cruciate ligament injury in basketball players

Autores

Sergio Cares Barrientos ¹
Héctor Retamal Matus ¹
Alessandra Petignari González ¹
Lucila Valdebenito Oyarzo ¹

¹ Universidad de Magallanes (Chile)

Autor de correspondencia:
Sergio Cares Barrientos
sergio.cares@umag.cl

Cómo citar en APA

Cares Barrientos, S., Retamal Matus, H., Petignari Gonzalez, A., & Valdebenito Oyarzo, L. (2025). Control neuromuscular de extremidad inferior, como factor de riesgo en la lesión de ligamento cruzado anterior en jugadores de baloncesto. *Retos*, 68, 964–976. <https://doi.org/10.47197/retos.v68.112934>

Resumen

Introducción: La ineficacia del control neuromuscular se ha considerado un importante factor de riesgo de lesión en el deporte, como en la lesión de ligamento cruzado anterior, afectando además la capacidad del sujeto para desarrollar correctamente sus destrezas deportivas.

Objetivo: Valorar el control neuromuscular de miembro inferior en jugadores de baloncesto, ya que su identificación de manera temprana es de suma importancia para categorizar su perfil de riesgo de lesión de Ligamento Cruzado Anterior.

Metodología: En esta investigación se proponen dos gestos que someten al deportista a desarrollar un correcto control neuromuscular: cambio de dirección y desaceleración. Estas evaluaciones se realizan mediante video análisis 2D.

Resultados: Se evaluó a 39 jugadores de baloncesto (15 mujeres y 24 hombre) entre 11 y 18 años de edad, dando como resultado que un alto porcentaje presentaba un control neuromuscular inadecuado, especialmente en el gesto cambio de dirección, sobre todo en las variables ángulo de proyección de la rodilla en el plano frontal y en la relación de la rodilla con la fuerza de reacción del suelo.

Discusión: Las variables que obtuvieron su mayor porcentaje en la categoría no adecuado, se relacionan directamente como factores incidentiales de lesión de ligamento cruzado anterior, ya que provocan un valgo dinámico excesivo en la rodilla.

Conclusión: Se considera prioritario establecer evaluaciones periódicas de estos factores, de la manera más cercana a la realidad del jugador de baloncesto, para establecer planes atingentes de prevención y de esta manera minimizar el riesgo de lesión.

Palabras clave

Baloncesto; biomecánica; ligamento cruzado anterior; rodilla; valgo dinámico.

Abstract

Introduction: The ineffectiveness of neuromuscular control has been considered an important risk factor for injury in sport, as in anterior cruciate ligament injury, also affecting the ability of the subject to correctly develop their sports skills.

Objective: To assess the neuromuscular control of the lower limb in basketball players, since its early identification is of utmost importance to categorize their risk profile for anterior cruciate ligament injury.

Methodology: In this research two gestures that subject the athlete to develop a correct neuromuscular control are proposed: change of direction and deceleration. These evaluations are performed by means of 2D video analysis.

Results: 39 basketball players (15 women and 24 men) between 11 and 18 years of age were evaluated, with the result that a high percentage presented inadequate neuromuscular control, especially in the change of direction gesture, especially in the variables of knee projection angle in the frontal plane and in the relationship of the knee with the ground reaction force.

Discussion: The variables that obtained the highest percentage in the inadequate category are directly related to incidental factors of anterior cruciate ligament injury, since they cause excessive dynamic valgus in the knee.

Conclusion: It is considered a priority to establish periodic evaluations of these factors, as close as possible to the basketball player's reality, in order to establish appropriate prevention plans and thus minimize the risk of injury.

Keywords

Anterior cruciate ligament; basketball; biomechanics; dynamic valgus; knee.

Introducción

El control del sistema neuromuscular depende directamente del complejo sistema sensoriomotor. Este sistema incorpora receptores y vías aferentes, junto con el proceso de integración y de procesamiento central y las respuestas eferentes, con el objetivo de mantener la estabilidad funcional de la articulación durante los movimientos deportivos (Fort & Romero, 2013).

La ineficacia del control neuromuscular se ha considerado un importante factor de riesgo de lesión en el deporte, como en la lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) (Sigurdsson, et al., 2021), afectando la intensidad y el tiempo de activación muscular, la capacidad de coactivación muscular, la estrategia de control dinámico en el plano frontal, desequilibrios neuromusculares entre extremidad dominante y no dominante, inadecuado stiffness muscular, déficit del control de la estabilidad postural, alteración de la sensibilidad propioceptiva y disminución de los mecanismos de anticipación o preactivación (feedforward), desencadenando deficiencias en los patrones de movimiento (Vanmeerhaeghe & Rodriguez, 2013).

Comprender las situaciones y mecanismos que conducen a las lesiones del LCA es crucial para diseñar eficazmente programas de prevención específicos para reducir su incidencia, principalmente por las complicaciones que esta lesión ocasiona a nivel económico, físico y psicológico en el deportista (Walden, et al., 2016; Arundale, et al., 2018; Mather, et al., 2013).

La evidencia actual a relacionado un deficiente control neuromuscular de la extremidad inferior en el plano frontal, como un factor modificable asociado a un mayor riesgo de sufrir lesión de LCA (Myer, et al., 2015), manifestándose en un aumento en la carga de valgo dinámico de rodilla (Cannon, et al. 2019; Dix, et al., 2020; Wilczyński, et al., 2020). Hewett, et al. (2005), demostraron que las atletas femeninas (fútbol, básquetbol y voleibol) que sufrieron una lesión de LCA durante la competencia, mostraron un control neuromuscular alterado con 2,5 veces mayor momento de abducción de la rodilla, durante la tarea de salto vertical, en comparación con los atletas no lesionados.

Mediante análisis de vídeo, Della Villa et al. (2020), documentaron las diferentes causas de lesiones del LCA en la liga de fútbol profesional italiana durante diez temporadas. Encontraron que el valgo de rodilla en situación de carga dinámica representaba el 81% del mecanismo biomecánico en el plano frontal. En este mismo plano, se sumaron otros factores de riesgo biomecánicos como: tronco inclinado ipsilateralmente y rotado contralateralmente (83%) y cadera en aducción (72%). En el plano sagital, el tronco se encontró erguido, con escasa flexión de cadera y rodilla en el 89% de los casos.

Algunos deportes, especialmente los que afectan a las extremidades inferiores, suponen importantes exigencias biomecánicas para el cuerpo y requieren un control neuromuscular preciso. El baloncesto es uno de ellos, en donde el deportista es sometido a constantes movimientos de aceleración, desaceleración, cambios de dirección, salto, entre otros; provocando altas cargas multiplanares, dadas las frecuentes transiciones entre la ofensiva y la defensa, así como los repetidos cambios en la intensidad propias del juego (Taylor, et al., 2017). Sin un control neuromuscular correcto, el jugador de baloncesto pudiese desarrollar una biomecánica alterada de miembro inferior, provocando movimientos perjudiciales de jándolo en riesgo de lesión (Cowley, et al., 2006).

Las lesiones de ligamento cruzado anterior son comunes en el baloncesto competitivo ocurriendo en una proporción de dos a cuatro veces mayor en mujeres (0.09 lesiones de LCA por 1000 horas de exposición), en comparación con los hombres (0.02 lesiones de LCA por 1000 horas de exposición) (Agel, et al., 2016). La mayoría de las lesiones de LCA en el baloncesto (60-70%) se producen mediante un mecanismo sin contacto directo (Benis, et al., 2018), y el 90 % durante una actividad monopodal (Boden et al., 2009). La mayoría de las lesiones ocurren al atacar, en lugar de defender, con rebotes como la actividad más frecuentemente citada como causante lesión (Krosshaug, et al. 2007).

El apoyo mediante evaluaciones de video análisis ha cobrado relevancia en los últimos años, ya que permite identificar la presencia de factores de riesgo, relacionados al control neuromuscular del movimiento en tiempo real y en acciones propias de la disciplina deportiva (Boden, et al., 2009) (Cares, et al., 2024). Se requiere poder evaluar la existencia de esta deficiencia motriz, mediante situaciones lo más cercanas a la realidad del deportista, por ejemplo, en tareas de alta velocidad o cambios de dirección, en

donde los sistemas articulares y musculares sean sometidos a establecer estrategias adecuadas de control neuromuscular. La evidencia sugiere que la mecánica de un atleta y su perfil de riesgo de lesiones depende de la tarea específica a la cual fue sometido.

La presencia de esta deficiencia motora debe evaluarse utilizando escenarios lo más parecidos posible a la vida cotidiana del deportista. Por ejemplo, las tareas a alta velocidad o los cambios de dirección requieren que los sistemas articular y muscular desarrollen estrategias de control neuromuscular adecuadas. Las investigaciones indican que el perfil de riesgo de lesión y la mecánica de un deportista están influidos por la tarea concreta que realiza. (Chinnasee, et al., 2018) (Munro, et al., 2017).

En consecuencia, esta investigación pretende evaluar de forma objetiva el estado del control neuromuscular de las extremidades inferiores en jugadores de baloncesto, mediante la realización de una evaluación en vídeo, con el fin de identificar los factores de riesgo neuromuscular asociados a la posibilidad de sufrir una lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) durante la ejecución de gestos específicos de la disciplina. Y, por otra parte, comparar el estado del control neuromuscular del miembro inferior entre jugadores de baloncesto, considerando variables como el género (hombres y mujeres), el miembro dominante y no dominante, y la distribución de los factores de riesgo más preponderantes en relación con cada gesto evaluado.

En este contexto, el objetivo de la presente investigación es evaluar el estado del control neuromuscular de las extremidades inferiores, como factor de riesgo de lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) en jugadores de baloncesto. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar el estado del control neuromuscular de las extremidades inferiores en jugadores de baloncesto mediante la realización de evaluaciones biomecánicas específicas.
2. Identificar los factores de riesgo neuromuscular asociados a la posibilidad de sufrir una lesión del LCA durante la ejecución de gestos específicos en el baloncesto, como el cambio de dirección y el salto.
3. Comparar el control neuromuscular entre jugadores de baloncesto de diferentes géneros (hombres y mujeres) para identificar diferencias significativas en las capacidades neuromusculares.
4. Evaluar las diferencias en el control neuromuscular del miembro dominante en comparación con el no dominante en jugadores de baloncesto y su relación con el riesgo de lesiones del LCA.

Método

Diseño del estudio

Se utilizó un diseño no experimental transversal, exploratorio y descriptivo.

Pregunta de investigación

¿Cuál es el estado del control neuromuscular de miembro inferior en jugadores de baloncesto, al ser evaluados en gestos propios de su disciplina?

Participantes

Se reclutó una muestra de jugadores y jugadoras del Club Deportivo Rama de Básquetbol Universidad de Magallanes (UMAG), de la ciudad de Punta Arenas, compuesto por 42 deportistas, mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Este tipo de muestreo se eligió debido a la disponibilidad de los participantes y las limitaciones logísticas del estudio. Los y las deportistas fueron contactados directamente con el cuerpo técnico del Club y sus apoderados. Se incluyeron en el estudio aquellos con al menos un año de experiencia deportiva y que no cumplieran con los criterios de exclusión determinados en esta investigación. Los criterios de exclusión fueron los siguientes: i) haber sufrido lesiones o presentar sintomatología en el aparato locomotor del miembro inferior y/o en la columna lumbar en los últimos seis meses; ii) incapacidad para ejecutar correctamente las habilidades técnicas evaluadas en el estudio.

Como resultado, la muestra final estuvo compuesta por 39 jugadores de baloncesto, distribuidos en 15 mujeres y 24 hombres. Tres deportistas fueron excluidos por presentar dolencias en el miembro inferior

en los últimos seis meses. Las características demográficas de los participantes se presentan en la Tabla 1.

Antes de iniciar el procedimiento de recogida de datos, todos los participantes mayores de dieciocho años firmaron un formulario de consentimiento informado. Cuando se trataba de menores, el menor firmaba un documento de asentimiento y sus tutores legales firmaban un formulario de consentimiento informado. Se entregaron dos copias del consentimiento: una para el participante o sus tutores, y otra para el investigador responsable. Los datos recabados fueron tratados de manera confidencial y se utilizaron exclusivamente con fines de investigación.

El protocolo de investigación fue aprobado por el Comité de Ética Científico de la Universidad de Magallanes (CEC-UMAG) (N°047/SH/2023) y se desarrolló en conformidad con los principios establecidos en la Declaración de Helsinki y la legislación chilena vigente sobre investigación en seres humanos (Ley 20.120).

Tabla 1. Datos demográficos de los jugadores de baloncesto

Variables	Mujeres	Hombres	p - valor
n (%)	15 (38.46)	24 (61.54)	.150
Edad (años)	12.93 ± 1.87	13.83 ± 1.76	.131
Peso (kg)	55.86 ± 12.9	58.92 ± 13.13	.296
Estatura (cm)	156.93 ± 0.07	165.33 ± 0.12	.005
IMC (kg/m ²)	22.55 ± 4.12	21.30 ± 3.16	.466

Los valores son medias y ± desviaciones estándar. cm: centímetros, kg: kilogramos, IMC: índice de masa corporal.

Procedimiento

Se solicitó autorización previa al Club Deportivo de Baloncesto de la Universidad de Magallanes (UMAG), Chile, para obtener información sobre sus jugadores y jugadoras. Los deportistas fueron convocados a través de una reunión con ellos y sus apoderados, en la cual se explicaron los objetivos y procedimientos de la investigación, extendiendo una invitación para participar en el estudio. Se les informa la importancia de esta investigación indicando que, en la actualidad, la incidencia de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) entre jugadores de baloncesto ha aumentado, lo que plantea una preocupación significativa tanto para los atletas como para los entrenadores y profesionales de la salud. El control neuromuscular en las extremidades inferiores es un factor crítico que influye en la estabilidad y la capacidad para ejecutar movimientos específicos del deporte, y su evaluación puede proporcionar información valiosa para la prevención de lesiones. Además, las diferencias en el control neuromuscular asociadas al género y a la edad hacen que sea imprescindible adaptar las estrategias de prevención a las características de cada grupo. La presente investigación busca llenar un vacío en la literatura existente, aportando datos objetivos que no sólo contribuirán al bienestar de los jugadores de baloncesto jóvenes, sino que también permitirán optimizar su rendimiento y reducir los costos sociales y económicos asociados a las lesiones.

Las evaluaciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis de Movimiento del Centro Asistencial Docente e Investigación (CADI) de la Universidad de Magallanes (UMAG). A continuación, se detalla el procedimiento seguido durante la evaluación de los y las participantes:

Recopilación de Datos Demográficos: Se realizó una entrevista con cada deportista para recopilar información demográfica relevante, que incluye datos como edad, género, y experiencia en el baloncesto. Esto permitió contextualizar los resultados de la evaluación.

Calentamiento Aeróbico: Tras la recopilación de datos, se solicitó a los participantes realizar un calentamiento aeróbico de siete minutos en una cinta trotadora (modelo Treadmill, marca Lode Valiant 2 CPET). Durante este calentamiento, los deportistas trotaron a una velocidad constante de 7 km/h. Este calentamiento tuvo como objetivo preparar el sistema cardiovascular y muscular de los participantes para las evaluaciones que se llevarían a cabo posteriormente.

Repeticiones Suaves de Gestos Deportivos: Después del calentamiento, los jugadores realizaron un conjunto de repeticiones suaves de los gestos deportivos que se iban a evaluar (cambio de dirección y desaceleración). Este paso fue diseñado para ayudar a los deportistas a adquirir confianza y mejorar la coordinación en los movimientos, asegurando que estuvieran familiarizados con las técnicas que se analizarían.

Evaluación de Movimientos Específicos: Como parte de la evaluación, cada deportista tuvo que realizar dos habilidades específicas de su disciplina, las que requerían de un control neuromuscular adecuado en la extremidad inferior. Estas habilidades fueron evaluadas tanto en la extremidad inferior dominante, como con la no dominante, permitiendo comparar el desempeño y la capacidad de control neuromuscular de ambas extremidades.

Cambio de dirección de 90° en sprint (CD): Corresponde a un sprint frontal de aproximadamente 5 metros, a máxima velocidad, seguido de un corte lateral de 90° al llegar a la plataforma de fuerza, y luego otro sprint en la otra dirección (Della Villa, et al., 2022).

Desaceleración (D): El deportista realizaba un sprint frontal de aproximadamente 5 metros hasta la plataforma de fuerza, a máxima velocidad, seguido de una desaceleración tras el apoyo monopodal en la plataforma, y finalmente un sprint hacia atrás (Di Paolo, et al., 2021).

Para que los datos fueran considerados válidos, se requería que el contacto completo del pie se realizara sobre la plataforma de fuerza. Un kinesiólogo especialista en medicina deportiva instruyó a cada participante en la ejecución correcta de los movimientos y verificó la validez de las repeticiones. Todos los deportistas realizaron tres repeticiones válidas por cada miembro inferior en los gestos de cambio de dirección y desaceleración. Todos los deportistas comenzaron realizando los gestos con su extremidad dominante.

Instrumento de recogida de datos

El análisis de movimiento en 2D se llevó a cabo utilizando el sistema específico VICON Nexus (Vicon Motion Systems Ltd., Oxford, Reino Unido). Este sistema funcionaba en un entorno de software especializado, a través de grabaciones de dos cámaras de alta velocidad, junto con la medición de la fuerza de reacción del suelo (GRF) obtenida mediante dos plataformas de fuerza, lo que permitió definir la cinemática del movimiento. Las cámaras, una en el plano frontal y otra en el plano sagital, estaban situadas a cuatro metros de las plataformas. Para el análisis de los videos, se utilizó el software Kinovea® (versión 0.9.4).

La fuerza de reacción del suelo (GRF) fue registrada mediante dos plataformas de fuerza BERTEC incrustadas en el suelo, y los datos fueron capturados con el programa Bertec Acquire (versión 4.0.11.403, Bertec, USA). Posteriormente, estos datos fueron procesados en el software Matlab (versión 7.10.0.499).

Tanto la plataforma de fuerza, como las cámaras, utilizaron una frecuencia de muestreo de 120 Hz, y las cámaras de alta velocidad, utilizaron una frecuencia de captura de sonido de 100 Hz. Los sistemas se sincronizaron para asegurar una comparación directa de los datos obtenidos. La calibración del sistema se realizó al inicio de cada sesión de adquisición de datos y se repitió periódicamente durante el transcurso de las sesiones.

Variables

Los dos gestos se analizaron utilizando un sistema de video en 2D, aplicando criterios de puntuación basados en la cinemática articular de los planos frontal y sagital. Estos criterios se emplean en el ámbito clínico para la toma de decisiones en el retorno al deporte tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) (Della Villa, et al., 2022; Di Paolo, et al., 2021).

Las variables analizadas incluyen: estabilidad de las extremidades, estabilidad de la pelvis, estabilidad del tronco, absorción de impactos y estrategia de movimientos. A cada variable se le asignó un criterio de puntuación que va desde 0/2 (no apropiado), 1/2 (parcialmente apropiado) hasta 2/2 (apropiado), de acuerdo con mediciones objetivas, como se detalla en la Tabla 2. La puntuación máxima total de cada evaluación es 12/12, donde un puntaje de 0-4 se considera no apropiado, 5-8 parcialmente apropiado y 9-12 apropiado.

Tabla 2. Detalle del criterio de puntaje para cada variable analizada en el plano frontal y sagital, en los gestos cambio de dirección y desaceleración.

Variable	Criterio	Imagen referencial
Estabilidad de las extremidades (EE) - Ángulo de proyección de la rodilla en el plano frontal (APRPF). - Vector GRF y rodilla (GRF).	<u>APRPF</u> 0/2: APRPF mayor a 25° 1/2: APRPF entre 10 y 25° 2/2: APRPF menor a 10° <u>GRF</u> 0/2: externo al centro de la patela 1/2: en la patela 2/2: interno al centro de la patela	
Estabilidad de pelvis (EP)	0/2: ángulo de la pelvis mayor a 10° 1/2: ángulo de la pelvis entre 5 y 10° 2/2: ángulo de la pelvis menor a 5°	
Estabilidad de tronco (ET)	0/2: ángulo del tronco mayor a 10° 1/2: ángulo del tronco entre 5 y 10° 2/2: ángulo del tronco menor a 5°	
Absorción de impactos (AI)	0/2: flexión de la rodilla mayor a 130° 1/2: flexión de la rodilla entre 110 y 130° 2/2: flexión de la rodilla menor a 110°	
Estrategia de movimiento (EM)	1 punto menos, si flexión de la rodilla es > 120° 1 punto menos, si el ángulo de flexión cadera-tronco es > 100°	

Análisis de datos

Los datos fueron analizados utilizando el software IBM SPSS Statistics versión 27. Las características demográficas de los participantes se describieron mediante medias y desviaciones estándar para las variables continuas, y mediante frecuencias absolutas y porcentajes para las variables categóricas. La prueba de Shapiro-Wilk se utilizó para evaluar la normalidad de la distribución de las variables continuas. Según los resultados de esta prueba, se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes cuando las variables seguían una distribución normal, o la prueba U de Mann-Whitney en caso de no normalidad.

Adicionalmente, se compararon de forma descriptiva las categorías de desempeño neuromuscular ("No apropiado", "Parcialmente apropiado" y "Apropiado") entre hombres y mujeres, así como entre las extremidades dominante y no dominante.

En el presente estudio, se identifican varias áreas potenciales de sesgo que podrían influir en los resultados. Primero, el sesgo de selección puede surgir debido a que la muestra se compuso de jugadores del Club deportivo de Baloncesto UMAG, lo que no representa a la población general de jugadores de baloncesto en la región. En segundo lugar, el sesgo de información puede estar presente en la recopilación de datos demográficos a través de entrevistas, donde los participantes pueden no recordar datos con precisión o proporcionar respuestas sesgadas. Además, se debe considerar el sesgo de medición, ya que las evaluaciones se llevaron a cabo en un entorno de laboratorio controlado, lo que podría afectar el rendimiento en comparación con situaciones reales de juego. Por último, el sesgo de interpretación puede influir en el análisis de los resultados, donde la perspectiva y creencias de los investigadores podrían afectar la interpretación de los datos, sin embargo, este se ve mitigado ya que se implementaron métodos de análisis objetivos.

Resultados

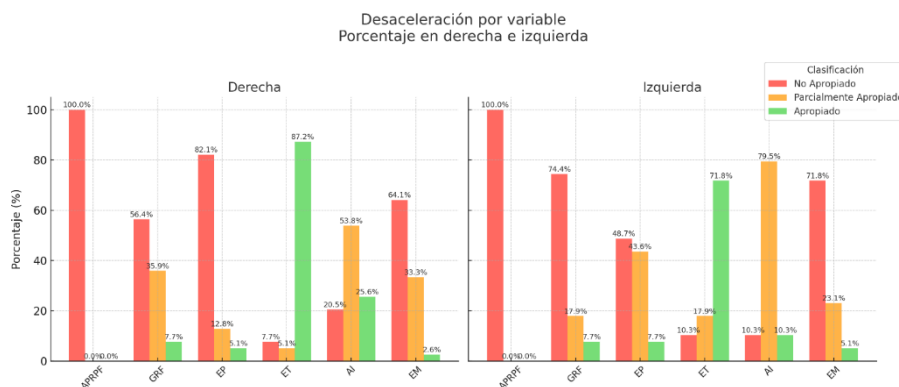
En la Tabla 3, se muestra el nivel de control neuromuscular de miembro inferior del total de jugadores de baloncesto, según la categorización de aptitud no apropiado, parcialmente apropiado y apropiado, tanto para el gesto desaceleración y cambio de dirección, en la extremidad dominante y no dominante. Cuando se analiza el total de jugadores de baloncesto se observa que presentan un mayor porcentaje de control neuromuscular en la categoría no apropiado, siendo mayor el porcentaje de esta deficiencia para el gesto cambio de dirección extremidad dominante (97,4%), en relación con el gesto desaceleración en la misma extremidad (66,7%), sin haber grandes diferencias entre extremidad dominante y no dominante. Al realizar la comparación entre hombres y mujeres, se mantiene este alto porcentaje en la categoría no apropiado en los dos gestos evaluados. Para ambos sexos, el gesto cambio de dirección fue el que arrojó mayor porcentaje en la categoría no apropiado, siendo el porcentaje más alto en el cambio de dirección en la extremidad dominante, para hombres (100%) y mujeres (93,3%).

Tabla 3. Porcentaje del nivel de control neuromuscular de miembro inferior del total de jugadores de baloncesto, por gesto y sexo.

	Desaceleración				Total	
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
	Dominante	No dominante	Dominante	No dominante	Dominante	No dominante
No Apropiado	75.0	70.8	53.3	73.3	66.7	71.8
Parcialmente Apropiado	20.8	29.2	46.7	26.7	30.8	28.2
Apropiado	4.2	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0
	Cambio de Dirección					
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
	Dominante	No dominante	Dominante	No dominante	Dominante	No dominante
No Apropiado	100.0	79.2	93.3	80.0	97.4	79.5
Parcialmente Apropiado	0.0	20.8	6.7	20.0	2.6	20.5
Apropiado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

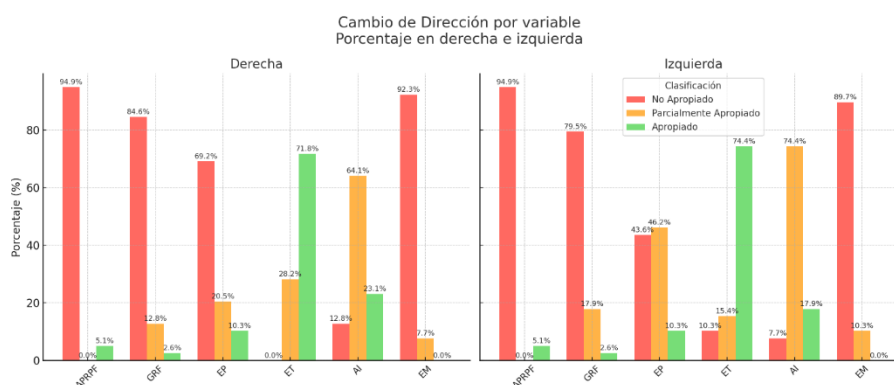
Al examinar detalladamente el comportamiento de cada una de las variables biomecánicas consideradas como factor de riesgo de lesión del LCA (Figura 1), podemos identificar que, para el gesto desaceleración las variables que presentan el mayor porcentaje de no apropiado son: APRPF (100% extremidad dominante y no dominante), GRF (56,40% dominante, 74,40% no dominante), EP (82,10% dominante, 48,70% no dominante) y EM (64,10% dominante, 71,80% no dominante). La variable AI, fue la variable que obtuvo el mayor porcentaje de parcialmente apropiado (53,80% dominante, 79,50% no dominante). Sólo la variable ET, obtuvo un alto porcentaje de nivel apropiado para este gesto (87,20% dominante, 71,80% no dominante).

Figura 1. Nivel de control neuromuscular de miembro inferior por factores de riesgo, en el gesto desaceleración.



Para el gesto cambio de dirección (Figura 2), el comportamiento de las variables de factor de riesgo fue similar destacando para el nivel de no apropiado el APRPF (94,90% extremidad dominante y no dominante), GRF (84,60% dominante, 79,5% no dominante), EP (69,20% dominante) y EM (92,30% dominante, 89,70% no dominante). En este gesto, también la variable AI fue la que obtuvo un mayor porcentaje para el nivel parcialmente apropiado (64,10% dominante, 74,40% no dominante) y nuevamente, la variable ET obtuvo el mayor porcentaje de apropiado (71,80% dominante, 74,40% no dominante).

Figura 2. Nivel de control neuromuscular de miembro inferior por factores de riesgo, en el gesto cambio de dirección.



Los resultados mostraron que puntajes más bajos se asociaban con un control neuromuscular deficiente en las actividades evaluadas. Se identifican claramente las variables cinemáticas con menor control neuromuscular y qué gesto presenta mayor requerimiento de control neuromuscular. Al evidenciar esta deficiencia para esta población, nos permite identificar de manera temprana qué jugadores están más vulnerables de sufrir una lesiones del LCA, llevando a la necesidad de implementar programas de prevención específicos para estos individuos. Además, el obtener un inadecuado control neuromuscular de miembro inferior contribuye a la mala ejecución de las destrezas o gestos propios de la disciplina, alterando su coordinación, disminuyendo así sus posibilidades de óptimo rendimiento.

Discusión

Al analizar el total de deportistas, se observa que el mayor porcentaje obtuvo una valoración de "no apropiado" en el control neuromuscular, tanto en la extremidad dominante como en la no dominante, y en ambos gestos evaluados (cambio de dirección y desaceleración). El porcentaje más alto se registró en el gesto de cambio de dirección con la extremidad dominante, alcanzando un 97.4% de valoración "no apropiada". Incluso, al sumar las categorías de "apropiado" y "parcialmente apropiado", el porcen-

taje combinado no supera el 34%. Esta situación indica un deficiente control neuromuscular, lo que repercute negativamente en la capacidad de establecer estrategias biomecánicas adecuadas para las extremidades inferiores, la pelvis y el tronco, esenciales para mantener de manera efectiva los gestos que requieren este tipo de control, tanto en el plano frontal como en el sagital.

Un estudio realizado por Della Villa et al. (15) también evaluó el control neuromuscular, pero se centró únicamente en el gesto de cambio de dirección, encontrando que sólo el 33% de los futbolistas obtuvo puntuaciones consideradas adecuadas. Además, deficiencias similares en el control neuromuscular de las extremidades inferiores se han observado en investigaciones con jugadores de baloncesto, donde se estudiaron diferentes gestos, como la caída después de un salto vertical. En estos casos, dicha deficiencia se ha vinculado de manera significativa con el aumento del riesgo de lesiones del LCA (Cowley, et al., 2006).

Al comparar el nivel de control neuromuscular entre hombres y mujeres, no se encontraron diferencias significativas. En ambos géneros, el mayor porcentaje de puntuaciones fue "no apropiado" para ambos gestos y extremidades. A pesar de esto, diversos estudios han señalado que las mujeres tienden a mostrar una mayor disparidad en comparación con los hombres en cuanto al control neuromuscular adecuado de las extremidades inferiores, lo que las hace más vulnerables a sufrir lesiones del LCA (Alentorn-Geli, et al., 2009). En particular, se ha reportado que las jugadoras de baloncesto presentan un menor control de la rodilla y una menor flexión de cadera y rodilla durante ciertas maniobras deportivas, como el aterrizaje después de un salto y los cambios de dirección, lo que contribuye al aumento del valgo en la rodilla (Chappell, et al., 2002; Decker, et al., 2003).

Entre los dos gestos evaluados, se observó un nivel de control neuromuscular inferior en el cambio de dirección, especialmente en la extremidad inferior dominante, tanto en hombres como en mujeres. En los hombres, se registró un 100% de valoración "no adecuada" en el gesto de cambio de dirección con la extremidad dominante, mientras que en el gesto de desaceleración, este porcentaje fue del 75%. Por su parte, en las mujeres, el 93.3% obtuvo una valoración "no adecuada" en el gesto de cambio de dirección y el 53.3% en el gesto de desaceleración. Esta diferencia se puede atribuir a la complejidad del gesto de cambio de dirección, que implica una combinación de movimientos en diferentes planos espaciales. Este gesto requiere principalmente la rotación de la rodilla para facilitar el cambio de plano de sagital a frontal, integrando un adecuado control del sistema neuromuscular (Brughelli et al., 2008). La ejecución efectiva de este movimiento depende de la combinación de la fuerza explosiva del cuádriceps durante la aceleración, la fuerza excéntrica en el frenado y la fuerza concéntrica para avanzar hacia la nueva dirección (Suarez-Arrones et al., 2020). En contraste, la desaceleración implica el control del movimiento únicamente en el plano sagital.

Esta información es especialmente relevante para los jugadores de baloncesto, quienes realizan en promedio 43 cambios de dirección por minuto, alcanzando entre 600 y 1,750 cambios durante un partido (Taylor et al., 2017). Esto representa más del 15% del tiempo total de juego (Abdelkrim et al., 2010).

Al analizar el comportamiento de variables relacionadas con la lesión del ligamento cruzado anterior (LCA), se observa que, en ambos gestos evaluados, existe un alto porcentaje de jugadores de baloncesto con un control neuromuscular inadecuado en factores de riesgo como el ángulo de proyección de la rodilla en el plano frontal (APRPF), el vector de la fuerza de reacción del suelo y la rodilla (GRF), la estabilidad de la pelvis (EP) y la estabilidad de movimiento (EM). Un control neuromuscular inadecuado, especialmente en las variables APRPF y GRF, se ha relacionado explícitamente con un mayor riesgo de lesiones del LCA (Wilczyński et al., 2020). Este tipo de lesión se explica comúnmente a través de un mecanismo de colapso en valgo, donde la combinación de la pronación del tobillo, la abducción de la rodilla, la aducción y la rotación interna de la cadera, junto con la flexión lateral del tronco hacia la extremidad de soporte, genera un patrón de movimiento que resulta en el colapso en valgo. Debido a que la meseta tibial lateral está más rotada posteriormente que la meseta tibial medial, el momento de abducción de la rodilla (KAM) resultante comprime el compartimento lateral de la articulación tibiofemoral y genera tensión en el LCA, como resultado de la rotación interna de la tibia (Kiapour et al., 2015).

Según Sigurdsson et al. (2021), para disminuir el momento de abducción de la rodilla (KAM) durante el gesto de cambio de dirección, el atleta debe empujar con fuerza contra el suelo y alejarse del centro de gravedad de su cuerpo. La aparición temprana de un KAM máximo es más probable cuando se aplica una fuerza vertical hacia abajo que es significativamente mayor en comparación con el empuje lateral.



Este empuje lateral puede volverse más difícil de realizar a medida que aumenta la distancia entre el centro de masa del pie y el tronco, lo que, a su vez, podría incrementar el riesgo de un KAM precoz. Asimismo, para ejecutar de manera efectiva un cambio de dirección de 90°, se requiere una ejecución rápida, lo que somete a la rodilla a una mayor tensión al aumentar su momento de abducción, la flexión y el vector de la fuerza de reacción del suelo (GRF), factores que pueden contribuir a lesiones.

Esta consideración es especialmente relevante en el baloncesto, donde los deportistas realizan constantemente movimientos de cortes y cambios de dirección. Por tanto, es fundamental que se mantenga un control adecuado de estas variables para minimizar el riesgo de lesiones en la rodilla (Taylor et al., 2017).

Conclusiones

Es fundamental aumentar la conciencia sobre el alto riesgo de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) en el baloncesto, así como sobre las estrategias disponibles para evaluarlas y mitigarlas. Actualmente, no se realizan evaluaciones adecuadas en este deporte mediante análisis de video que identifiquen de manera objetiva los factores de riesgo en condiciones que reflejen de cerca la realidad y las habilidades deportivas de los jugadores.

En la investigación se evidencia una deficiencia biomecánica, relacionada con el control neuromuscular en esta población de atletas lo que permitirá identificar de manera temprana a aquellos jugadores que son más vulnerables a sufrir lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA). En consecuencia, se hace evidente la necesidad de implementar programas de prevención específicos dirigidos a estos individuos. Además, un control neuromuscular inadecuado en las extremidades inferiores no sólo incrementa el riesgo de lesiones, sino que también afecta negativamente la ejecución de las destrezas propias del baloncesto, comprometiendo la coordinación y reduciendo las posibilidades de alcanzar un rendimiento óptimo.

Estas conclusiones resaltan la importancia de tomar medidas proactivas para mejorar el control neuromuscular en los jugadores de baloncesto, lo que puede contribuir a una disminución del riesgo de lesiones y a un mejor desarrollo de sus capacidades deportivas.

Dentro de las limitaciones de esta investigación podemos indicar que, aunque se sometió a los deportistas a gestos que simulan situaciones desafiantes y relevantes para su deporte, como el cambio de dirección y la desaceleración, el entorno controlado de la evaluación puede no reflejar completamente la dinámica de un contexto deportivo real. Los atletas conocen de antemano cuándo realizar el gesto, lo que no reproduce la imprevisibilidad de un juego, donde factores tales como el contacto con oponentes, la búsqueda del balón o el estado de la superficie pueden influir en la ejecución. Además, no se recopilaron datos sobre la activación muscular durante la ejecución de estas tareas. La incorporación de electromiografía (EMG) podría ofrecer información valiosa sobre la interacción entre la calidad del movimiento y la fuerza muscular, aportando así un enfoque más integral para entender los factores que contribuyen al riesgo de lesiones en los jugadores. Integrar estos datos permitiría una evaluación más completa de la actividad muscular involucrada durante la realización de habilidades específicas, ayudando a establecer una conexión más clara entre la fuerza muscular y la calidad del movimiento de los deportistas.

Agradecimientos

Se extiende un agradecimiento al Laboratorio de Análisis del Movimiento, del Centro Asistencial Docente e Investigación, de la Universidad de Magallanes, Chile (CADI-UMAG), por permitir la utilización de sus dependencias e implementación para las evaluaciones de esta investigación; y además a los jugadores de baloncesto y equipo técnico del Club Deportivo Rama de Básquetbol Universidad de Magallanes (UMAG), de la ciudad de Punta Arenas, por su colaboración.

Referencias

- Abdelkrim, N. B., Castagna, C., Jabri, I., Battikh, T., El Fazaa, S., & El Ati, J. (2010). Activity profile and physiological requirements of junior elite basketball players in relation to aerobic-anaerobic fitness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(9), 2330-2342. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181e381c1
- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 17, 705-729. DOI: 10.1007/s00167-009-0823-z
- Agel, J., Rockwood, T., & Klossner, D. (2016). Collegiate ACL injury rates across 15 sports: national collegiate athletic association injury surveillance system data update (2004-2005 through 2012-2013). *Clinical journal of sport medicine*, 26(6), 518-523. DOI: 10.1097/JSM.0000000000000290
- Arundale, A. J. H., Silvers-Granelli, H. J., & Snyder-Mackler, L. (2018). Career length and injury incidence after anterior cruciate ligament reconstruction in major league soccer players. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 6(1), 2325967117750825. DOI: 10.1177/2325967117750825
- Benis, R. A. L. A. T., La Torre, A., & Bonato, M. (2018). Anterior cruciate ligament injury profile in female elite Italian basketball league. *J Sports Med Phys Fitness*, 58(3), 280-286. DOI: 10.23736/S0022-4707.16.06663-9
- Boden, B. P., Torg, J. S., Knowles, S. B., & Hewett, T. E. (2009). Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. *The American journal of sports medicine*, 37(2), 252-259. DOI: 10.1177/0363546508328107
- Brughelli, M., Cronin, J., Levin, G., & Chaouachi, A. (2008). Understanding change of direction ability in sport: a review of resistance training studies. *Sports medicine*, 38, 1045-1063. DOI: 10.2165/00007256-200838120-00007
- Cannon, J., Cambridge, E. D., & McGill, S. M. (2019). Anterior cruciate ligament injury mechanisms and the kinetic chain linkage: the effect of proximal joint stiffness on distal knee control during bilateral landings. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 49(8), 601-610. DOI: 10.2519/jospt.2019.8248
- Cares, S., Espinosa, C. N., Castelblanco, F. G., & Castro, D. M. (2024). Valoración del control neuromuscular de miembro inferior de futbolistas de alta competencia. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 13(2), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.24310/ric-cafd.13.2.2024.19060>
- Chappell, J. D., Yu, B., Kirkendall, D. T., & Garrett, W. E. (2002). A comparison of knee kinetics between male and female recreational athletes in stop-jump tasks. *The American journal of sports medicine*, 30(2), 261-267. DOI: 10.1177/03635465020300021901
- Chinnasee, C., Weir, G., Sasimontongkul, S., Alderson, J., & Donnelly, C. (2018). A biomechanical comparison of single-leg landing and unplanned sidestepping. *International journal of sports medicine*, 39(08), 636-645. DOI: 10.1055/a-0592-7422
- Cowley, H. R., Ford, K. R., Myer, G. D., Kernozek, T. W., & Hewett, T. E. (2006). Differences in neuromuscular strategies between landing and cutting tasks in female basketball and soccer athletes. *Journal of athletic training*, 41(1), 67. PMID: PMC1421490 PMID: 16619097
- Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Sterett, W. I., & Steadman, J. R. (2003). Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical biomechanics*, 18(7), 662-669. DOI: 10.1016/s0268-0033(03)00090-1
- Della Villa, F., Buckthorpe, M., Grassi, A., Nabiuzzi, A., Tosarelli, F., Zaffagnini, S., & Della Villa, S. (2020). Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *British journal of sports medicine*, 54(23), 1423-1432. DOI: 10.1136/bjsports-2019-101247
- Della Villa, F., Di Paolo, S., Santagati, D., Della Croce, E., Lopomo, N. F., Grassi, A., & Zaffagnini, S. (2022). A 2D video-analysis scoring system of 90° change of direction technique identifies football players with high knee abduction moment. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 30(11), 3616-3625. DOI: 10.1007/s00167-021-06571-2
- Di Paolo, S., Zaffagnini, S., Tosarelli, F., Aggio, F., Bragonzoni, L., Grassi, A., & Della Villa, F. (2021). A 2D qualitative movement assessment of a deceleration task detects football players with high knee



- joint loading. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 29, 4032-4040. DOI: 10.1007/s00167-021-06709-2
- Dix, C., Arundale, A., Silvers-Granelli, H., Marmon, A., Zarzycki, R., & Snyder-Mackler, L. (2020). Biomechanical measures during two sport-specific tasks differentiate between soccer players who go on to anterior cruciate ligament injury and those who do not: a prospective cohort analysis. *International journal of sports physical therapy*, 15(6), 928. DOI: 10.26603/ijsp20200928
- Fort Vanmeerhaeghe, A., & Romero Rodriguez, D. (2013). Rol del sistema sensoriomotor en la estabilidad articular durante las actividades deportivas. *Apunts Sports Medicine*, 48(178), 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2012.09.002>
- Fox, A. S. (2018). Change-of-direction biomechanics: is what's best for anterior cruciate ligament injury prevention also best for performance?. *Sports Medicine*, 48(8), 1799-1807. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0931-3>
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt Jr, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., ... & Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *The American journal of sports medicine*, 33(4), 492-501. DOI: 10.1177/0363546504269591
- Kiapour, A. M., Kiapour, A., Goel, V. K., Quatman, C. E., Wordeman, S. C., Hewett, T. E., & Demetropoulos, C. K. (2015). Uni-directional coupling between tibiofemoral frontal and axial plane rotation supports valgus collapse mechanism of ACL injury. *Journal of biomechanics*, 48(10), 1745-1751. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2015.05.017
- Krosshaug, T., Nakamae, A., Boden, B. P., Engebretsen, L., Smith, G., Slauterbeck, J. R., ... & Bahr, R. (2007). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *The American journal of sports medicine*, 35(3), 359-367. DOI: 10.1177/0363546506293899
- Mather III, R. C., Koenig, L., Kocher, M. S., Dall, T. M., Gallo, P., Scott, D. J., ... & MOON Knee Group. (2013). Societal and economic impact of anterior cruciate ligament tears. *JBJS*, 95(19), 1751-1759. DOI: 10.2106/JBJS.L.01705
- Munro, A., Herrington, L., & Comfort, P. (2017). The relationship between 2-dimensional knee-valgus angles during single-leg squat, single-leg-land, and drop-jump screening tests. *Journal of sport rehabilitation*, 26(1), 72-77. DOI: 10.1123/jsr.2015-0102
- Myer, G. D., Ford, K. R., Di Stasi, S. L., Foss, K. D. B., Micheli, L. J., & Hewett, T. E. (2015). High knee abduction moments are common risk factors for patellofemoral pain (PFP) and anterior cruciate ligament (ACL) injury in girls: is PFP itself a predictor for subsequent ACL injury?. *British journal of sports medicine*, 49(2), 118-122. DOI: 10.1136/bjsports-2013-092536
- Suarez-Arrones, L., Gonzalo-Skok, O., Carrasquilla, I., Asián-Clemente, J., Santalla, A., Lara-Lopez, P., & Núñez, F. J. (2020). Relationships between change of direction, sprint, jump, and squat power performance. *Sports*, 8(3), 38. DOI: 10.3390/sports8030038
- Sigurðsson, H. B., Karlsson, J., Snyder-Mackler, L., & Briem, K. (2021). Kinematics observed during ACL injury are associated with large early peak knee abduction moments during a change of direction task in healthy adolescents. *Journal of Orthopaedic Research®*, 39(10), 2281-2290. DOI: 10.1002/jor.24942
- Taylor, J. B., Wright, A. A., Dischiavi, S. L., Townsend, M. A., & Marmon, A. R. (2017). Activity demands during multi-directional team sports: a systematic review. *Sports Medicine*, 47, 2533-2551. DOI: 10.1007/s40279-017-0772-5
- Vanmeerhaeghe, A. F., & Rodriguez, D. R. (2013). Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 48(179), 109-120. DOI: 10.1016/j.apunts.2013.05.003
- Waldén, M., Häggglund, M., Magnusson, H., & Ekstrand, J. (2016). ACL injuries in men's professional football: a 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. *British journal of sports medicine*, 50(12), 744-750. DOI: 10.1136/bjsports-2015-095952
- Wilczyński, B., Zorena, K., & Ślęzak, D. (2020). Dynamic knee valgus in single-leg movement tasks. Potentially modifiable factors and exercise training options. A literature review. *International journal of environmental research and public health*, 17(21), 8208. DOI: 10.3390/ijerph17218208



Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Sergio Cares Barrientos
Héctor Retamal Matus
Alessandra Petignari González
Lucila Valdebenito Oyarzo

sergio.cares@umag.cl
felipe.retamal@umag.cl
apetigna@umag.cl
lvaldebe@umag.cl

Autor
Autor
Autora
Autora