

VALORACIÓN DEL CONTROL NEUROMUSCULAR DE MIEMBRO INFERIOR DE FUTBOLISTAS DE ALTA COMPETENCIA**ASSESSMENT OF NEUROMUSCULAR CONTROL OF LOWER LIMB OF HIGHLY COMPETITIVE SOCCER PLAYERS**

Recibido el 26 de febrero de 2024 / Aceptado el 20 de junio de 2024 / DOI: 10.24310/riccafd.13.2.2024.19060
Correspondencia: Sergio Oscar Cares Barrientos, sergio.cares@umag.cl

Cares Barrientos, SO^{1ACF}; Núñez Espinosa, C^{2BC}; Mabe Castro, DA^{3B}, Galindo Castelblanco, FA^{4B}

¹ Departamento de Kinesiología Universidad de Magallanes, Chile, sergio.cares@umag.cl

² Escuela de Medicina Universidad de Magallanes, Chile, cristian.nunez@umag.cl

³ Departamento de Kinesiología Universidad de Magallanes, Chile, dmabe@umag.cl

⁴ Departamento de Kinesiología Universidad de Magallanes, Chile, fgalcas@umag.cl

Responsabilidades

^ADiseño de la investigación. ^BRecolector de datos. ^CRedactor del trabajo. ^DTratamiento estadístico. ^EApoyo económico. ^FIdea original y coordinador de toda la investigación

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue valorar el control neuromuscular en futbolistas de alta competencia, ya que su identificación de manera temprana es de suma importancia para categorizar su perfil de riesgo de lesión de extremidad inferior. En esta investigación se proponen tres gestos que someten al deportista a desarrollar un correcto control neuromuscular: cambio de dirección (CD), desaceleración (D) y caída del salto vertical (CSV). Se evaluó a 60 futbolistas entre 15 y 41 años de edad ($20,7 \pm 5,9$) de la ciudad de Punta Arenas, dando como resultado que un alto porcentaje presentaba un control neuromuscular inadecuado, especialmente en el gesto CD y D, sobre todo en las variables ángulo de proyección de la rodilla en el plano frontal (APRPF) y en la relación de la rodilla con la fuerza de reacción del suelo (GRF), las cuales provocan un valgo dinámico excesivo en el rodilla.

PALABRAS CLAVE

biomecánica, rodilla, fútbol, LCA, valgo dinámico.



■ ABSTRACT

The aim of this study was to assess neuromuscular control in high competition soccer players, since its early identification is of utmost importance to categorize their lower extremity injury risk profile. In this research, three gestures that subject the athlete to develop a correct neuromuscular control were proposed: change of direction (CD), deceleration (D) and vertical jump drop (CSV). Sixty soccer players between 15 and 41 years of age (20.7 ± 5.9) from the city of Punta Arenas were evaluated, giving as a result that a high percentage presented inadequate neuromuscular control, especially in the CD and D gesture, especially in the variables knee projection angle in the frontal plane (APRPF) and in the relation of the knee with the ground reaction force (GRF), which cause excessive dynamic valgus in the knee.

■ KEY WORDS

iomechanics, knee, soccer, ACL, dynamic valgus.

■ INTRODUCCIÓN

El control neuromuscular se ha definido como “la activación inconsciente dinámica (músculos) que ocurre en preparación y en respuesta al movimiento y carga de las articulaciones, con el fin de mantener y restaurar la estabilidad funcional de las articulaciones” (1). Un control neuromuscular bien coordinado es el resultado de una función óptima de todo el sistema sensoriomotor (por ejemplo, la provisión de información aferente, posteriormente el procesamiento e integración de esta información por parte del sistema nervioso central (SNC) y, en última instancia, la generación de una respuesta motora eferente (2).

El control neuromuscular deficiente, es decir, la capacidad disminuida del SNC para procesar e integrar información aferente compleja, es considerado hoy en día un factor de riesgo importante de lesión en el deporte, relacionado con alteraciones en la biomecánica articular de rodilla y directamente incidental, por ejemplo, de la lesión esguince de ligamento cruzado anterior (LCA) (3).

Este control deficiente, principalmente en el plano frontal, se puede manifestar como un aumento de la carga dinámica en valgo de la rodilla, ampliamente reconocido como uno de los principales indicadores de riesgo de lesión de LCA (4).

Identificar a deportistas con alteración de este factor de riesgo modificable, resulta sumamente importante para establecer programas



atingentes de prevención, mediante planes de entrenamiento neuromuscular (5).

En deportes como el fútbol, en donde existe una alta incidencia lesional (6), en especial de rodilla (7) el atleta se ve sometido a constantes situaciones que alteran su control neuromuscular, como cambios de dirección, cambios de velocidad, amortiguación luego de un salto de manera mono y bipodal, y escenarios de perturbación del oponente, como por ejemplo un tackle, sumado esto a factores externos como la superficie del campo de juego o las condiciones meteorológicas (8). Della Villa et al. (9) mediante video análisis, informaron las diversas causas que conducían a sufrir esguince de LCA en la liga de futbol italiano profesional durante 10 temporadas, en donde el mecanismo biomecánico de mayor ponderación fue el valgo de rodilla en situación de carga dinámica (81%), destacando también que la mayoría de las lesiones ocurrieron sin contacto (44%), o contacto indirecto a la rodilla (44%), como perturbaciones en el tronco por el oponente. Es necesario prestar atención a estas situaciones en el contexto de prevención y rehabilitación, enfocadas a establecer como habilidad protectora el correcto control neuromuscular.

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 (10,11).

Desacelerar y cambio de dirección en 90°, son movimientos comunes de los futbolistas, en los cuales se ha identificado alta relación incidental con lesiones en rodilla sin contacto directo (12). Este hecho puede atribuirse a la tendencia a generar grandes cargas multiplanares en la articulación, como momentos de abducción de la rodilla (KAM) y momentos de rotación interna (KIRM). Estas cargas potencialmente peligrosas en la articulación de la rodilla se amplifican cuando se demuestran posturas y movimientos iniciales deficientes (déficits de control biomecánico y neuromuscular) durante el gesto (13).

Otro gesto que ha sido evaluado por su relación con la lesional de LCA, ha sido la amortiguación de la caída del salto vertical, ya que aumentos en el valgo de rodilla en el plano frontal, escasa flexión de la rodilla en el plano sagital y aumentos en la fuerza de reacción del suelo, se han relacionado como factores de riesgo lesionales (14).

Existe en la actualidad diversa tecnología, para objetivar la condición neuromotriz de un atleta al realizar gestos propios de su disciplina,



siendo la más precisa la evaluación en video 3D basada en marcadores, la cual lamentablemente es muy costosa, consume mucho tiempo y no es la realidad de los clubes deportivos, ni del ambiente clínico, sin embargo algunas investigación han encontrado directa correlación al comparar sus resultados con análisis de video 2D, siendo más rentable, fácil de interpretar e igual de confiable para identificar, por ejemplo un valgo dinámico de rodilla (13,15).

Por lo anterior mencionado, es que el objetivo de este estudio fue determinar de manera objetiva, el nivel de control neuromuscular de miembro inferior en futbolistas varones de alta competencia de la ciudad de Punta Arenas, durante la realización de 3 gestos propios de la disciplina, evaluados mediante video análisis 2D.

■ MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño

Este estudio siguió un diseño prospectivo, observacional transversal. Los participantes fueron reclutados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia entre futbolistas varones de alta competencia de la ciudad de Punta Arenas.

Todos los participantes tuvieron que aceptar los criterios de uso y manejo de los datos mediante la firma de un formulario de consentimiento informado autorizando el uso de la información con fines científicos. El protocolo de investigación fue aprobado por el Hospital Clínico de la Universidad de Chile (número de aprobación: Registro de aprobación N° 072/2022) y desarrollado siguiendo la Declaración de Helsinki con seres humanos.

Participantes

Las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Análisis del Movimiento, del Centro Asistencial Docente e Investigación (CADI), de la Universidad de Magallanes. En total, se reclutaron para el estudio a 60 futbolistas seleccionados de la Región de Magallanes y Antártica Chilena. Los criterios de inclusión fueron la edad entre 15 y 41 años, género masculino, clasificar como deportistas de alta competencia según el criterio de al menos 3 entrenamientos a la semana y competencia regular al menos de un año. Los criterios de exclusión fueron: I: evidencia de trastornos musculoesqueléticos o deterioro funcional de miembro inferior; II: índice de masa corporal (IMC) > 35; III: cirugía previa de miembros inferiores; IV: trastornos cardiopulmonares o



cardiovasculares; V: incapacidad para realizar las tareas requeridas. Los datos demográficos de los participantes son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos demográficos de los futbolistas incluidos en la investigación

Datos demográficos	
Número de futbolistas	60
Edad (años)	20,7 ± 5,9 (15-41)
Estatura (cm)	172,1 ± 6,7 (156-188)
Peso (kg)	70,6 ± 9,8 (53-96)
IMC (kg/metros ²)	24,2 ± 2,5 (18,3-30)
Dominancia (D/I)	53/7

Datos fueron expresados en medias y ± desviación estándar (rango).
Extremidad dominante, fue medido como la extremidad de preferencia para golpear un balón, derecha (D) o izquierda (I).

Confidencialidad y carácter ético

Todos los sujetos mayores de 18 años firmaron un consentimiento informado antes de iniciar el protocolo de adquisición, en el caso de los menores de edad, los tutores firmaron el consentimiento y el menor firmó el asentimiento informado. Se hizo entrega de dos copias, una copia fue entregada a los tutores y/o futbolista, y otra copia quedó para el investigador responsable. Todos los datos recabados en esta investigación fueron de carácter confidencial y únicamente con fines de investigación.

Procedimiento

Por medio de una entrevista con el futbolista, se recopilaron sus datos demográficos y explicación del procedimiento, el cual comenzaba con un calentamiento aeróbico de trote en Treadmill marca LODE Valiant 2 CPET, de 7 minutos de duración a 7 km/hr., luego debía realizar algunas repeticiones suaves de cada gesto deportivo, para poder adquirir confianza y coordinación del movimiento antes de empezar la evaluación.

Como parte de la evaluación de los movimientos propios de la disciplina, a cada futbolista se le pidió que realizara 3 gestos deportivos, que requerían un correcto control neuromuscular de miembro inferior, tanto con la extremidad dominante, como la no dominante:



1. Cambio de dirección de 90° de un sprint (CD), que consiste en un sprint frontal a máxima velocidad, seguido de un movimiento de corte lateral de 90° al momento de llegar a la plataforma de fuerza y un sprint frontal adicional en la nueva dirección (15).
2. Desaceleración (D), donde el futbolista realiza un sprint frontal a máxima velocidad, aproximadamente a 5 metros de distancia de la plataforma, seguido de desaceleración luego del apoyo monopodal en la plataforma de fuerza, y finalmente un último sprint hacia posterior (16).
3. Caída del salto vertical (CSV), la posición inicial del futbolista era sobre un cajón de 31 cms de altura, y se instruyó a caer con cada extremidad en cada una de las plataformas de fuerza e inmediatamente realizar un salto vertical a máxima altura con los miembros superiores libres, para luego caer nuevamente en las mismas plataformas (3).

El contacto completo del pie en las plataformas de fuerza se requerirá para considerar válido los datos recolectados en cada gesto.

Un kinesiólogo especialista en Medicina deportiva instruyó a cada sujeto en los movimientos realizados, verificando su validez. Todos los sujetos realizaron tres repeticiones válidas en cada gesto, para el CD y D se valoró la extremidad dominante y no dominante.

Los 3 gestos, se analizaron a través del sistema de video 2D, utilizando criterios de puntuación basados en la cinemática articular del plano frontal y sagital, los cuales se utilizan en la clínica para la toma de decisiones de retorno al deporte, luego de la reconstrucción de LCA (15,16).

Las variables que se analizan son: estabilidad de las extremidades, estabilidad de la pelvis, estabilidad del tronco, absorción de impactos y estrategia de movimientos. A cada variable, se le atribuye un criterio de subpuntuación de 0/2 (no adecuado), 1/2 (parcialmente adecuado) o 2/2 (adecuado), basándose en mediciones objetivas detalladas en la Figura 1. La puntuación total máxima de cada evaluación es 12/12, siendo un puntaje de 0-4 no adecuado, 5-8 parcialmente adecuado y 9-12 adecuado.



Variable	Criterio	Imagen referencial
<p>Estabilidad de las extremidades</p> <p>Angulo de proyección de la rodilla en el plano frontal (APRPF).</p> <p>Vector GRF y rodilla (GRF).</p>	<p><u>APRPF</u></p> <p>0/2: APRPF > 25°</p> <p>1/2: APRPF 10-25°</p> <p>2/2: APRPF < 10°</p> <p><u>GRF</u></p> <p>0/2: lateral al centro de la patela</p> <p>1/2: en el centro de la patela</p> <p>2/2: medial al centro de la patela</p>	
<p>Estabilidad de pelvis</p>	<p>0/2: ángulo de la pelvis > 10°</p> <p>1/2: ángulo de la pelvis 5-10°</p> <p>2/2: ángulo de la pelvis < 5°</p>	
<p>Estabilidad de tronco</p>	<p>0/2: ángulo del tronco > 10°</p> <p>1/2: ángulo del tronco 5-10°</p> <p>2/2: ángulo del tronco < 5°</p>	
<p>Absorción de impactos</p>	<p>0/2: flexión de la rodilla > 130°</p> <p>1/2: flexión de la rodilla 110-130°</p> <p>2/2: flexión de la rodilla < 110°</p>	




Variable	Criterio	Imagen referencial
Estrategia de movimiento	Menos 1 punto: si flexión de la rodilla $> 120^\circ$ Menos 1 punto: si el ángulo de flexión cadera-tronco $> 100^\circ$	

Figura 1. Detalle del criterio de puntaje para cada variable analizada en el plano frontal y sagital, en los gestos cambio de dirección (CD), desaceleración (D) y caída del salto vertical (CSV). APRPF: ángulo de proyección de la rodilla en el plano frontal.

Instrumento de recogida de datos

El análisis de movimiento 2D se realizó con el sistema VICON específico (VICON Nexus, Vicon Motion Systems Ltd., Oxford, Reino Unido), en un entorno de software a través de las grabaciones de dos cámaras de alta velocidad y el vector GRF resultante de la plataforma de fuerza que define la cinemática del movimiento. Las cámaras se ubicaron a 4 metros de la plataforma de fuerza, una desde el plano frontal y la otra desde el plano sagital. Además, para el análisis de los videos se ocupó Kinovea® (versión 0.9.4).

La fuerza de reacción del suelo (GRF) se registró, mediante plataforma de fuerza BERTEC incrustada en el suelo y programa Bertec Acquire (versión 4.0.11.403. Bertec, USA) los cuales fueron procesados en el software Matlab (versión 7.10.0.499).

La frecuencia de muestreo de cámaras y plataforma de fuerza fue de 120 Hz, mientras que la misma frecuencia de sonido de las cámaras de alta velocidad fue de 100 Hz. Los sistemas se sincronizan para la comparación directa de datos. La calibración del sistema se realizó a principios de la adquisición y repetida periódicamente durante las sesiones.

Análisis de datos

Se aplicó estadística descriptiva y frecuentistas para analizar las variables con Microsoft Excel (Versión 18.0, Excel 2021). Se calcularon porcentajes, medianas y promedios dependiendo de la distribución de las variables, para establecer diferencias.



■ RESULTADOS

Al analizar el puntaje total obtenido por cada deportista en todas las variables, en el cual se consideraba como criterio de adecuado entre 9-12, parcialmente adecuado entre 5-8 e inadecuado entre 0-4, observamos que para el gesto de cambio de dirección (CD), en ambas extremidades predomina el porcentaje de inadecuado (87% y 67%). En la desaceleración (D) nuevamente predomina el porcentaje de inadecuado, pero sólo para la extremidad dominante (53%), en cambio para la no dominante, predomina el criterio de parcialmente adecuado (48%). Solamente, en el gesto de caída del salto vertical (CSV), los futbolistas obtuvieron un mayor porcentaje en el criterio de adecuado, en ambas extremidades (65% y 80%) (Figura 2).

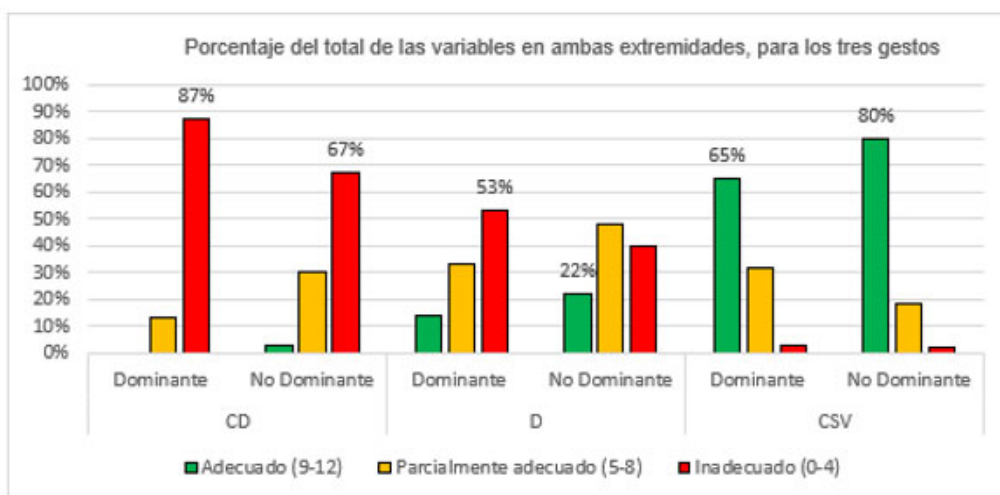


Figura 2. Porcentaje del total de las variables en ambas extremidades, para los tres gestos. CD: Cambio de dirección, D: Desaceleración, CSV: Caída del salto vertical.

Cuando se observa en detalle el comportamiento de cada una de las variables en cada gesto, en donde se consideraba como criterio de adecuado un puntaje de 2, parcialmente adecuado un puntaje de 1 e inadecuado un puntaje de 0, se extrae que para el cambio de dirección (CD) los porcentajes más altos, en ambas extremidades, los presenta el criterio de Inadecuado, principalmente en las variables APRPF (93% y 88%), GRF (92% y 90%) y estrategia de movimiento (68% y 59%) (Figura 2.1).

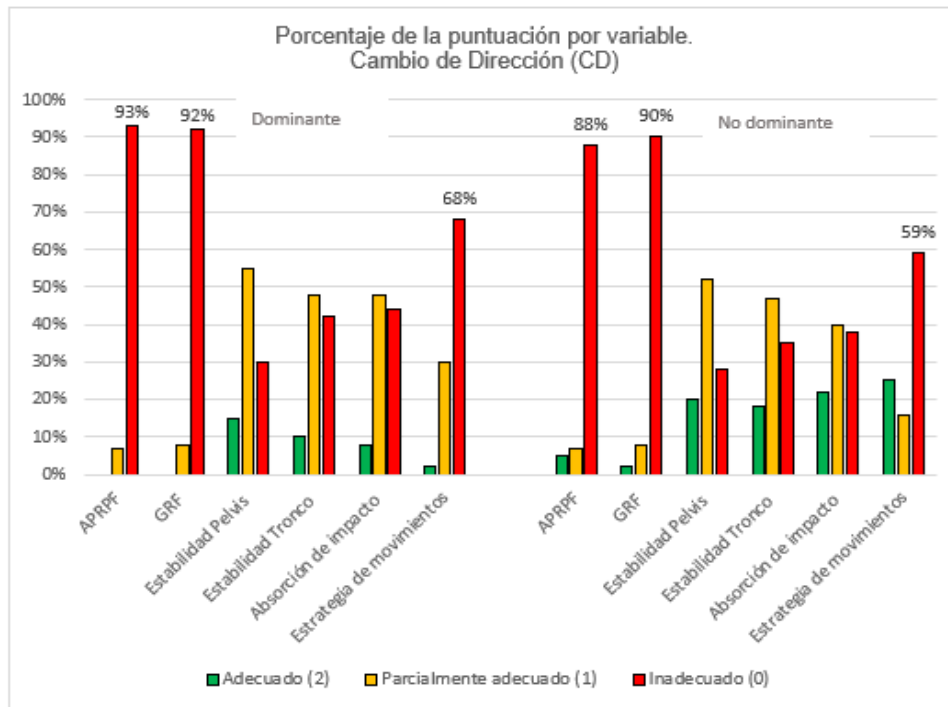


Figura 2.1. Porcentaje de la puntuación por variable, en el gesto cambio de dirección (CD), de ambas extremidades. APRPF: Ángulo de proyección de la rodilla en el plano frontal, GRF: vector entre la fuerza de reacción del suelo y rodilla.

Para el gesto de desaceleración (D), observamos que los porcentajes más altos, en ambas extremidades, los presenta nuevamente el criterio Inadecuado, pero esta vez sólo en las variables APRPF (80% y 66%) y GRF (67% y 50%) (Figura 2.2).

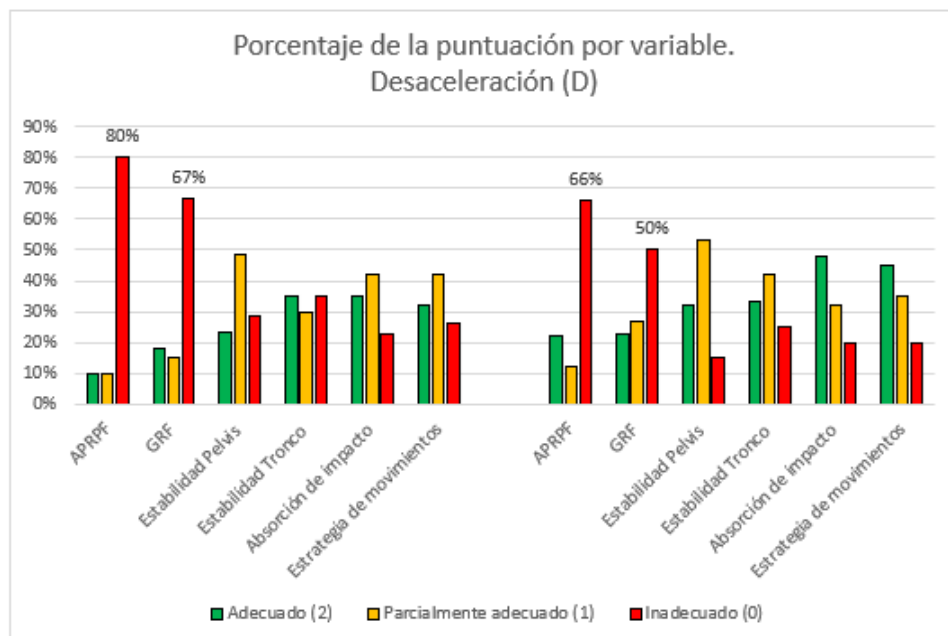


Figura 2.2. Porcentaje de la puntuación por variable, en el gesto desaceleración (D), de ambas extremidades. APRPF: Ángulo de proyección de la rodilla en el plano frontal, GRF: vector entre la fuerza de reacción del suelo y rodilla.



Finalmente, en el gesto caída de salto vertical (CSV), observamos que los porcentajes más altos, en ambas extremidades, los presenta el criterio Adecuado para todas las variables, principalmente en las variables absorción de impacto (80% y 82%) y estrategia de movimiento (80% y 81%) (Figura 2.3).

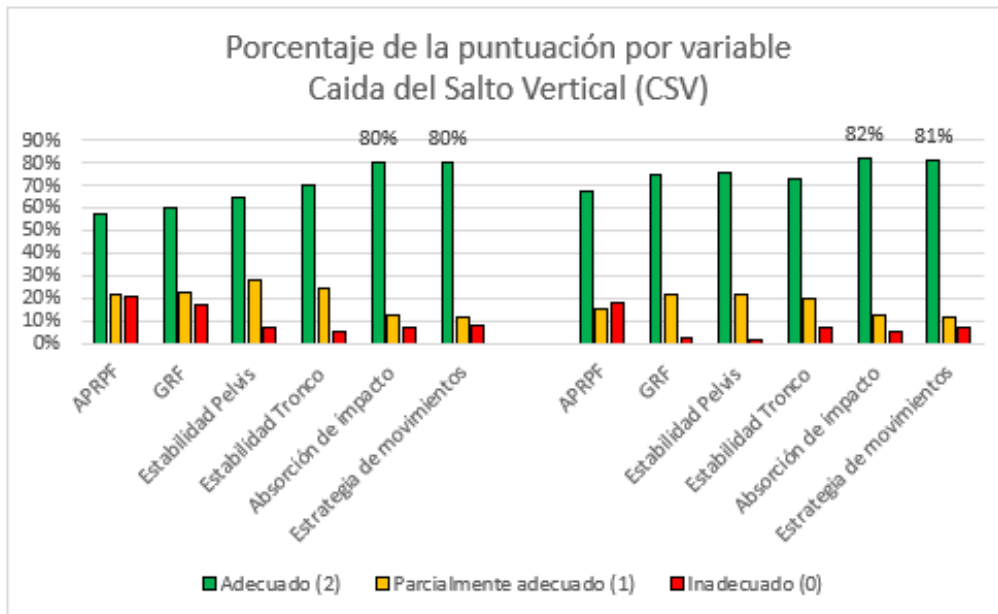


Figura 2.3. Porcentaje de la puntuación por variable, en el gesto cambio de dirección (CD), de ambas extremidades. APRPF: Ángulo de proyección de la rodilla en el plano frontal, GRF: vector entre la fuerza de reacción del suelo y rodilla.

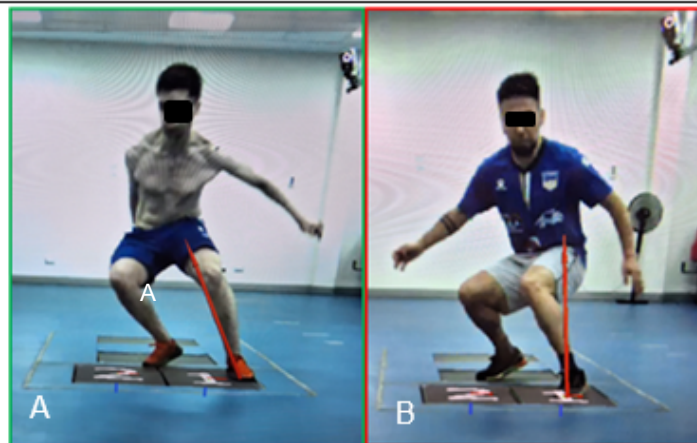


Figura 3. Ejemplo de comparación en el control neuromuscular, del gesto de desaceleración (D) en el plano frontal, de dos futbolistas. A: Adecuado control neuromuscular de extremidad inferior, B: Inadecuado control neuromuscular de extremidad inferior.



■ DISCUSIÓN

El propósito de la investigación fue identificar de manera objetiva el nivel de control neuromuscular de miembro inferior que presentaban los futbolistas seleccionados de la ciudad de Punta Arenas, al ser expuestos a tres gestos que son propios de su disciplina, como el cambio de dirección (CD), desaceleración (D) y caída del salto vertical (CSV). Estos fueron evaluados mediante video análisis 2D, y las seis variables analizadas fueron categorizadas como criterio adecuado, parcialmente adecuado e inadecuado, extraído de investigaciones que valoran este factor de riesgo para determinar el retorno al deporte luego de reconstrucción de LCA (15,16). Puntajes más bajos indicaban un peor control neuromuscular en la actividad desarrollada, tanto cuando se sumaba el total de todas las variables (12/12), como cuando se analizaba variables individuales (2/2).

Al analizar la sumatoria del puntaje obtenido de las seis variables evaluadas, se observa que un alto porcentaje de los futbolistas, 87% para la extremidad dominante y 67% para la extremidad no dominante, presenta un control neuromuscular deficiente o inadecuado para establecer estrategias biomecánicas, tanto en tronco, pelvis y extremidad inferior, con el fin de mantener eficazmente el gesto de cambio de dirección (CD), evidenciado en el plano frontal y el sagital. Al comparar estos resultados, con la investigación presenta por Della Villa et al., (15) en donde valoraban el control neuromuscular solamente en el gesto de cambio dirección, se asemejan en el sentido de que sólo el 33% de los y las futbolistas alcanzo puntuaciones altas o de categoría adecuado.

Situación similar ocurre al someter al deportista al gesto de desaceleración (D), donde un 53% obtuvo una categoría de inadecuado en la extremidad dominante y sólo un 22% alcanzó la valoración de adecuado en la extremidad no dominante. Sin embargo, para el gesto de caída del salto vertical (CSV), gran porcentaje de los deportistas (65% extremidad dominante y 80% extremidad no dominante), obtuvieron una categoría de adecuado. Se puede inferir esta diferencia entre gestos, en primera instancia porque el único gesto que es bipodal es la CSV en donde se reparte la capacidad de control neuromuscular en ambas extremidades, lo que permite adecuar de mejor manera el movimiento, a diferencia de la mayor exigencia que presenta mantenerlo en una situación unipodal, sumándole que en los gestos de CD y D se debían realizar a máxima velocidad. En el gesto CD se observa un mayor porcentaje de futbolistas en inadecuado en comparación con la D, en donde se desprende que en el CD se le suma un gesto de rotación en la rodilla para generar el cambio de plano desde sagital a frontal, por



el contrario, en la desaceleración se controla sólo el movimiento en el plano sagital.

Cuando se observa detalladamente cada variable estudiada, por gesto realizado, los resultados evidenciaron que para el gesto de cambio de dirección (CD) un alto porcentaje de los futbolistas presentaban un control neuromuscular inadecuado en la variable APRPF (88%), GRF (90%) y estrategia de movimiento (59%). Presentar un control neuromuscular inadecuado en las variables APRPF y GRF se han relacionado directamente como factor de riesgo incidental de lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) (17). Se ha propuesto un mecanismo de colapso en valgo para explicar esta lesión, en donde el patrón de movimiento que lleva al colapso en valgo es la combinación de pronación del tobillo, abducción de la rodilla, aducción y rotación interna de la cadera y flexión lateral del tronco hacia la extremidad de apoyo. El momento de abducción (KAM) de la rodilla resultante estirará el LCA y comprimirá el compartimento lateral de la articulación tibiofemoral, lo que provocará una rotación tibial interna debido a que la meseta tibial lateral está más rotada hacia atrás en comparación con la meseta tibial medial (18). Sigurðsson et al. (4), observaron que para minimizar el KAM en el gesto de cambio de dirección, el atleta debe empujar activamente contra el suelo, lejos del centro de masa del cuerpo. Cuando actúa una fuerza descendente relativamente mayor, consistente con un menor empuje lateral hacia el suelo, es más probable que se produzca un KAM máximo temprano. A medida que aumenta la distancia entre el centro de masa del pie y el tronco, puede ser cada vez más exigente empujar lateralmente hacia el suelo y, por lo tanto, puede aumentar la posibilidad de un KAM temprano. El gesto de cambio de dirección en 90° , además requiere de aumentos en la velocidad de ejecución para poder ser más eficaces en la destreza, sin embargo, esto somete a la rodilla a un mayor momento de abducción, flexión y aumento de la GRF, acrecentando la carga en la articulación, existiendo un riesgo potencial de lesión (19).

En el gesto de desaceleración (D), nuevamente los futbolistas presentaron un alto porcentaje del criterio inadecuado en las variables APRPF y GRF, para ambas extremidades. Di Paolo et al. (16), en una investigación en donde analizaron el control neuromuscular, sólo en el gesto de desaceleración, también obtuvieron puntuaciones bajas para estas variables, relacionándolas con un momento de abducción de la rodilla alto (KAM), lo cual, como se ha comentado anteriormente, aumenta la posibilidad de lesión de LCA. Estudios recientes de análisis de videos sobre lesiones del LCA identificaron al gesto realizado por el futbolista de presionar al oponente, como uno de los patrones situacionales más comunes para las lesiones del LCA, en el que se realiza un sprint frontal, con una desaceleración repentina cerca del



oponente (15). Sin embargo, en situaciones en las que la gestión del tiempo es una necesidad y sólo se puede evaluar una tarea, puede ser más apropiado utilizar el gesto de cambio de dirección, en lugar de una tarea de desaceleración, debido al mayor momento de aducción de la rodilla y a la relación de la rodilla con el GRF que exige el CD (20).

El gesto de caída de salto vertical (CSV), fue el único en donde los futbolistas presentaron valores altos en la puntuación, categorizándose como adecuado para todas las variables y en ambas extremidades inferiores. Sin embargo, se debe considerar que este gesto requiere de la amortiguación de la carga de aterrizaje sólo durante una tarea orientada verticalmente, en cambio la D involucra el recorrido del deportista para absorber la carga en el plano sagital, y en el caso del CD aumenta aún más esta exigencia ya que integra el plano sagital seguido del plano frontal. Además, en la CSV no se evalúa la variable de la velocidad del gesto a diferencia del CD y D, en donde el futbolista debe frenar una acción que se desarrolla a máxima velocidad y que exige, principalmente a la rodilla, a un máximo control biomecánico y neuromuscular. Lo otro importante de considerar es que en la CSV el deportista aprovecha el soporte de ambas extremidades para realizar la acción, al contrario del CD y D que es un gesto realizado siempre con una sólo extremidad, en donde queda más propensa la articulación a sufrir un colapso. Por otro lado, la mecánica de aterrizaje del salto vertical, se atribuye más a deportes como el salto alto, voleibol o baloncesto, y no tanto para el fútbol en donde el cambio de dirección es la maniobra que más realiza el deportista y que se ha demostrado como su control neuromuscular inadecuado, se relación con lesión de LCA sin contacto (13). Finalmente, considerar que el sistema de puntuación de errores de aterrizaje del salto (LESS), es la herramienta más validada y reconocida para identificar deficiencias en el control neuromuscular o potenciales riesgo de lesión (21).

■ LIMITACIONES

El presente estudio presenta algunas limitaciones. En primera instancia, los datos se recopilaron en un ambiente de situación de laboratorio controlada, a diferencia de la realidad del atleta, en donde estos gestos se realizan de manera no anticipada. Si bien es cierto el deportista debía correr a máxima velocidad, no debía controlar focos externos como el oponente, seguimiento de balón o estado del césped. Estudios futuros podrían considerar insertar césped artificial al laboratorio o incluso desarrollar esta evaluación en un escenario real de campo. Segundo, todos los deportistas incluidos en este estudio estaban sanos, por lo tanto, no se puede analizar comparativamente



los resultados obtenidos entre pacientes con y sin lesión. Tercero, los datos fueron recogidos durante una única sesión, en donde el deportista debía comprender la evaluación y coordinar la acción para que los test sean válidos. Sería interesante evaluar estos gestos de manera periódica y analizar los cambios en el control neuromuscular, incluso previo y posterior a un plan de prevención. Cuarto, no se recopilaban datos de activación muscular durante la ejecución de la tarea. La integración de datos basados en EMG podría proporcionar información interesante sobre la interacción entre la calidad del movimiento de los atletas y la fuerza muscular.

■ 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 futbolistas y equipo técnico de la Selección de Fútbol adulta de la ciudad de Punta Arenas, Selección de fútbol sub-18 de la ciudad de Punta Arenas, Selección de Fútbol sala de Punta Arenas y Selección de Fútbol de la Universidad de Magallanes, por su colaboración.

Financiamiento: Este trabajo fue financiado con recursos del Fondo Nacional de Promoción del Deporte de Chile, código 2300120006 (Instituto Nacional de Deporte de Chile, IND).

■ REFERENCIAS

1. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *Tren J Athl.* 2002;37(1): 71-9.
2. Smeets A, Verschueren S, Staes F, Vandenneucker H, Claes S, Vanrenterghem J. Athletes with an ACL reconstruction show a different neuromuscular response to environmental challenges compared to uninjured athletes. *Gait & Posture.* 2021 Jan;83:44-51
3. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt Jr, RS, Colosimo AJ, McLean SG et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sport Med.* 2005 Apr;33(4):492-501.
4. Sigurðsson HB., Karlsson J, Snyder-Mackler L, Briem K. Kinematics observed during ACL injury are associated with large early peak knee abduction moments during a change of direction task in healthy adolescents. *J Orthop Res.* 2020 Dec 16;39(10):2281-2290.



5. Hewett TE., Bates NA. Preventive biomechanics: a paradigm shift with a translational approach to biomechanics. *Am J Sport Med.* 2017 Feb 15; 45(11):2654-64.
6. Peña J, Gil-Puga B, Piedra A, Altarriba-Bartés A, Loscos-Fàbregas E, Chulvi-Medrano I, García-de-Alcaraz A. Epidemiología y factores de riesgo en chicas jóvenes deportistas: baloncesto, fútbol y voleibol. *Apunts. Educación física y deportes.* 2022;2(152): 01-12.
7. Grassi A, Macchiarola L, Filippini M, Lucidi GA, Della Villa F, Zaffagnini S. Epidemiology of anterior cruciate ligament injury in Italian first division soccer players. *Sports Health.* 2019 Dec 4;12(3):279-288.
8. Waldén M, Krosshaug T, Bjørneboe J, Andersen TE, Faul O, Hägglund M. Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: a systematic video analysis of 39 cases. *Br J Sport Med.* 2015 Apr 23;49(22):1452-60.
9. Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A, Nabiuzzi A, Tosarelli F, Zaffagnini S, Della Villa S. Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *Br J Sport Med.* 2020 Jun 19;54(23).
10. Chinnasee C, Weir G, Sasimontonkul S, Alderson J, Donnelly C. A biomechanical comparison of single-leg landing and unplanned sidestepping. *Int J Sports Med.* 2018 Jun 14;39(08):636-45.
11. Munro A, Herrington L, Comfort P. The relationship between 2-dimensional knee-valgus angles during single-leg squat, single-leg-land, and drop-jump screening tests. *J Sport Rehabil.* 2017 Jan;26(1):72-7.
12. Dix C, Arundale A, Silvers-Granelli H, Marmon A, Zarzycki R, Snyder-Mackler L. 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. *Int J Sports Phys Ther.* 2020 Dec;15(6):928-35.
13. Dos'Santos T, McBurnie A, Donelon T, Thomas C, Comfort P, Jones PA. A qualitative screening tool to identify athletes with 'high-risk' movement mechanics during cutting: The cutting movement assessment score (CMAS). *Phys Ther Sport.* 2019 Jul;38:152-61.
14. Leppänen M, Pasanen K, Kujala UM, Vasankari T, Kannus P, Äyrämö S., Parkkari J. Stiff landings are associated with increased ACL injury risk in young female basketball and floorball players. *Am J Sports Med.* 2016 Oct 1;45(2):386-93.
15. Della Villa F, Di Paolo S, Santagati D, Della Croce E, Lopomo NF, Grassi A, Zaffagnini S. A 2D video-analysis scoring system of 90° change of direction technique identifies football players with high knee abduction



moment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021 Apr;30(11);3616-25.

16. Di Paolo S, Zaffagnini S, Tosarelli F, Aggio F, Bragonzoni L, Grassi A, Della Villa F. A 2D qualitative movement assessment of a deceleration task detects football players with high knee joint loading. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021 Sep 4;29(12):4032-40.

17. Wilczyński B, Zorena K, Ślęzak D. Dynamic knee valgus in single-leg movement tasks. Potentially modifiable factors and exercise training options. A literature review. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Nov 6;17(21): 8208.

18. Kiapour AM, Kiapour A, Goel VK, Quatman CE, Wordeman SC, Hewett TE, Demetropoulos CK. Uni-directional coupling between tibiofemoral frontal and axial plane rotation supports valgus collapse mechanism of ACL injury. *J Biomech.* 2015 Jul;48(10):1745-51.

19. Fox AS. Change-of-direction biomechanics: Is what's best for anterior cruciate ligament injury prevention also best for performance? *Sports Med.* 2018 May 2;48(8):1799-807.

20. Peel SA, Schroeder LE, Sievert ZA, Weinhandl JT. Comparing anterior cruciate ligament injury risk variables between unanticipated cutting and decelerating tasks. *J Appl Biomech.* 2019 Apr;35(2):101-6.

21. Padua DA, Boling MC, DiStefano LJ, Onate JA, Beutler AI, Marshall SW. Reliability of the landing error scoring system-real time, a clinical assessment tool of jump-landing biomechanics. *J Sport Rehabil.* 2011 May;20(2):145-56.