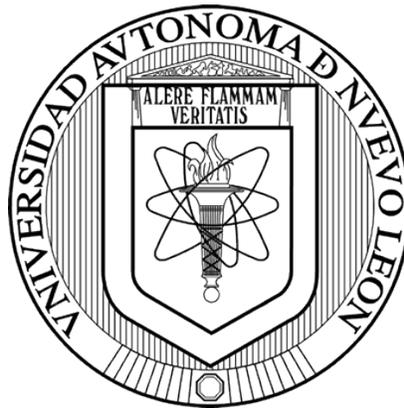


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE MEDICINA

HOSPITAL UNIVERSITARIO “DR. JOSÉ ELEUTERIO GONZÁLEZ”



**ASOCIACIÓN ENTRE EL PICO DE TORQUE MÁXIMO DE RODILLA Y LA
PREVALENCIA DE DESBALANCE MUSCULAR EN JUGADORES PROFESIONALES
DE FÚTBOL SOCCER.**

Por

DR. JOSÉ ALONSO MALDONADO SÁNCHEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALIDAD EN MEDICINA DEL DEPORTE Y REHABILITACIÓN**

DICIEMBRE 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE MEDICINA

HOSPITAL UNIVERSITARIO “DR. JOSÉ ELEUTERIO GONZÁLEZ”



**ASOCIACIÓN ENTRE EL PICO DE TORQUE MÁXIMO DE RODILLA Y LA
PREVALENCIA DE DESBALANCE MUSCULAR EN JUGADORES PROFESIONALES
DE FÚTBOL SOCCER.**

Por

DR. JOSÉ ALONSO MALDONADO SÁNCHEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALIDAD EN MEDICINA DEL DEPORTE Y REHABILITACIÓN**

Asesor

DR. ÁNGEL GONZÁLEZ CANTÚ

DICIEMBRE 2024

**ASOCIACIÓN ENTRE EL PICO DE TORQUE MÁXIMO DE RODILLA Y LA
PREVALENCIA DE DESBALANCE MUSCULAR EN JUGADORES PROFESIONALES
DE FÚTBOL SOCCER.**

Aprobación de la tesis



Dr. José Alonso Maldonado Sánchez

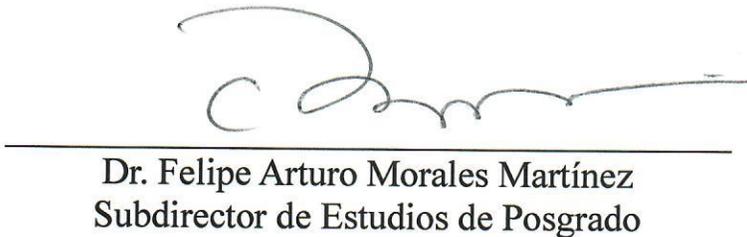
Tesista



Dr. Ángel González Cantú
Director de Tesis



Dr. José Ángel Garza Cantú
Jefe de Departamento



Dr. Felipe Arturo Morales Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado



Dr. MCs. Tomás Javier Martínez Cervantes PhD.
Coordinador de Enseñanza

PROLOGO

La evaluación isocinética es una prueba dinámica de valoración funcional de las distintas articulaciones del aparato locomotor, que permite evaluar el rendimiento muscular mediante el análisis de la elaboración de fuerza o momento articular.

Se utiliza en el día a día clínico para orientar el diagnóstico y el tratamiento oportuno de las diferentes patologías musculoesqueléticas, así como para valorar la evolución del paciente, en cuestión de recuperación tras un periodo de rehabilitación específica, así como también para la evaluación de deportistas de elite que buscan la mejora de su rendimiento y la prevención de lesiones.

Permite el cálculo de la relación agonista/antagonista, la existencia de asimetrías y la relación de fuerzas entre los diferentes grupos musculares, los cuales son esenciales para la biomecánica articular. Esta técnica utiliza un dinamómetro asociado a una computadora que registra las magnitudes de la fuerza muscular empleada.

Las variables que son más utilizadas dentro de los estudios de investigación son la fuerza máxima la cual es resultado del esfuerzo realizado por la distancia y que se mide en newton-metro (Nm), el trabajo muscular medido en joule (J) y la potencia que es el trabajo realizado por tiempo medido en watt (W).

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos los que compartieron esta etapa de mi vida conmigo, a mis padres, a mi esposa por su apoyo incondicional, a mis maestros y por último a mis compañeros de residencia con los que compartí experiencias y aprendizajes en el departamento.

Gracias por siempre estar ahí.

RESUMEN

Marco Teórico: La dinamometría isocinética es un medio para ejercitar y evaluar la fuerza de extremidades utilizando diferentes parámetros siendo la producción de torque máximo a una velocidad específica de movimiento del miembro uno de ellos. Las asimetrías en la fuerza muscular pueden afectar negativamente el rendimiento específico y las habilidades relacionadas con el fútbol por su relación al estar presentes con el riesgo de presentar lesiones que limitan significativamente el rendimiento deportivo de los jugadores.

Objetivo: Determinar la asociación entre los picos de torque máximo de grupos musculares flexores y extensores de rodilla y la prevalencia de desbalance muscular en jugadores profesionales de futbol.

Material y Métodos: Estudio observacional, descriptivo, transversal, retrospectivo y de asociación en donde se se evaluaron los expedientes de jugadores profesionales de futbol soccer de un equipo de liga MX en el periodo 2018 a 2021 recabando información de las pruebas de isocinecia realizadas en los jugadores de primera división profesional durante pretemporada.

Resultados: Se analizaron 131 estudios de futbolistas profesionales con una media de edad de 27 años. Se observó desbalance muscular en flexión y extensión de la articulación de la rodilla de 44.2% y 35.7% respectivamente. considerando un umbral del 10%. Las probabilidades de desbalance muscular fueron menores en jugadores con picos de torque más altos en extensión. La relación agonista/antagonista presentó una mediana de 54%, con solo el 16% de los jugadores en el rango ideal.

Conclusiones: Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar programas de entrenamiento que busquen equilibrar los picos de torque de los grupos musculares para optimizar el rendimiento y reducir el riesgo de lesiones.

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO	I
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
LISTA DE ABREVIATURAS	X
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 HIPÓTESIS	2
1.3 OBJETIVOS	2
1.4 JUSTIFICACIÓN	3
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
CAPÍTULO III	14
METODOLOGÍA	14
3.1 DISEÑO DE ESTUDIO	14
3.2 LUGAR DONDE SE DESARROLLARÁ EL PROYECTO	14
3.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SUJETOS	14
3.4 CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA	15
3.5 CUADRO DE VARIABLES	15
3.6 PLAN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO	16
3.7 PROCEDIMIENTOS	17
3.8 ASPECTOS ÉTICOS	18
3.9 MECANISMOS DE CONFIDENCIALIDAD	18
CAPÍTULO IV	18
RESULTADOS	19
4.1 FUERZAS A LA FLEXIÓN	20
4.2 FUERZAS A LA EXTENSIÓN	21
4.3 DESBALANCE MUSCULAR (>5%)	23
4.4 DESBALANCE MUSCULAR (>10%)	23
4.5 RATIO AGONISTA / ANTAONISTA (AG/ANT)	24
CAPÍTULO V	35
DISCUSIÓN	35

<i>CAPÍTULO VI</i>	<i>37</i>
<i>CONCLUSION Y RECOMENDACIONES</i>	<i>37</i>
<i>REFERENCIAS</i>	<i>39</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i>	20
Características de la población.....	20
<i>Tabla 2</i>	22
Picos de torque de flexión entre posiciones de juego	22
<i>Tabla 3</i>	23
Picos de torque de extensión entre posiciones de juego.....	23
<i>Tabla 4</i>	26
Dinamometría isocinética.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i>	27
Torque de flexión derecha a 60°	27
<i>Figura 2</i>	27
Torque de flexión izquierda a 60°.....	27
<i>Figura 3</i>	28
Torque de flexión derecha a 180°	28
<i>Figura 4</i>	28
Torque de flexión izquierda a 180°	28
<i>Figura 5</i>	29
Torque de extensión derecha a 60°	29
<i>Figura 6</i>	29
Torque de extensión izquierda a 60°	29
<i>Figura 7</i>	30
Torque de extensión derecha a 180°	30
<i>Figura 8</i>	30
Torque de extensión izquierda a 180°	30
<i>Figura 9</i>	3 ¡Error! Marcador no definido.
Déficit de flexión a 60°	3 ¡Error! Marcador no definido.
<i>Figura 10</i>	31
Déficit en extensión a 60°	31
<i>Figura 11</i>	¡Error! Marcador no definido.2
Déficit en flexión a 180°.....	¡Error! Marcador no definido.2
<i>Figura 12</i>	32
Déficit en extensión a 180°	¡Error! Marcador no definido.
<i>Figura 13</i>	33
Ratio agonista antagonista por grupo de edad en miembro derecho	33
<i>Figura 14</i>	33
Ratio agonista antagonista por grupo de edad en miembro izquierdo	33
<i>Figura 15</i>	3 ¡Error! Marcador no definido.
Ratio agonista antagonista por posición en miembro derecho	3 ¡Error! Marcador no definido.
<i>Figura 16</i>	3 ¡Error! Marcador no definido.
Ratio agonista antagonista por posición en miembro izquierdo	3 ¡Error! Marcador no definido.
<i>Figura 17</i>	35

Ratio agonista antagonista por grupo de edad en miembro derecho	35
<i>Figura 18</i>	35
Ratio agonista antagonista por grupo de edad en miembro izquierdo	35

LISTA DE ABREVIATURAS

DE: Desviación estándar

RIC: Rango intercuartil

OR: *Odds Ratio*

95% IC: Intervalo de confianza al 95%

AG/ANT: Agonista/antagonista

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El fútbol soccer es un deporte que demanda altos niveles de rendimiento físico y técnico, y los jugadores profesionales están constantemente expuestos a esfuerzos intensos que pueden predisponerlos a lesiones. La fuerza muscular equilibrada es crucial para la estabilidad y el rendimiento de las extremidades inferiores, particularmente en las rodillas, que son esenciales para la movilidad y el rendimiento en el fútbol.

El desbalance muscular, especialmente el que se presenta entre los músculos isquiotibiales y los cuádriceps, ha sido identificado como un factor de riesgo significativo para diversas lesiones, incluidas las distensiones musculares y las lesiones del ligamento cruzado anterior. En jugadores de fútbol, las asimetrías en la fuerza muscular pueden resultar de hábitos de entrenamiento, dominancia de una extremidad y la naturaleza específica del deporte. La identificación de desbalances musculares es esencial para diseñar programas de entrenamiento y rehabilitación (en el caso de antecedente de una lesión) que mitiguen estos riesgos.

Asimismo, el pico de torque máximo de rodilla es un indicador fundamental de la fuerza y funcionalidad de los músculos extensores y flexores de la rodilla. Evaluar este parámetro permite obtener una medida cuantitativa del rendimiento muscular y su capacidad para soportar cargas dinámicas durante el juego.

A pesar de la relevancia clínica y deportiva de estos desbalances, existe una carencia de estudios que examinen cómo el pico de torque máximo de rodilla se relaciona con la prevalencia y gravedad de desbalances musculares en jugadores profesionales de fútbol soccer.

Esto nos llevó a la pregunta de investigación: ¿Cuál es la asociación entre los picos de torque máximo de rodilla y la prevalencia de desbalance muscular en jugadores profesionales de fútbol?

1.2 HIPÓTESIS

Hipótesis Nula (H0):

- No existe una asociación entre el pico de torque máximo de rodilla y la prevalencia de desbalance muscular en jugadores profesionales de fútbol.

Hipótesis Alterna (H1):

- Existe una asociación entre el pico de torque máximo de rodilla y la prevalencia de desbalance muscular en jugadores profesionales de fútbol.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo Primario

- Determinar la asociación entre los picos de torque máximo de musculatura flexora y extensora de rodilla y la prevalencia de desbalance muscular en jugadores profesionales de fútbol

Objetivos Secundarios

- Determinar la prevalencia de desbalance muscular
- Correlacionar los picos de torque con la posición de los jugadores en el campo.
- Correlacionar los picos de torque con las lesiones previas de los jugadores.
- Identificar si existen diferencias significativas en los picos de torque máximo entre diferentes grupos de edad de los jugadores.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La evaluación del pico de torque máximo y la identificación de desbalances permiten a los entrenadores y fisioterapeutas personalizar los programas de entrenamiento para optimizar el rendimiento de los jugadores. Un equilibrio muscular adecuado mejora la eficiencia del movimiento y reduce la fatiga, lo que puede traducirse en un mejor rendimiento en el campo.

Comprender la relación entre el pico de torque máximo de los grupos musculares flexores y extensores de rodilla y el desbalance muscular puede proporcionar información valiosa para prevenir lesiones comunes en el fútbol, como distensiones de isquiotibiales y lesiones de ligamentos.

Investigar la asociación entre el pico de torque máximo de rodilla y la prevalencia de desbalance muscular en jugadores profesionales de fútbol soccer es crucial para mejorar la salud y el rendimiento de los atletas. Este estudio tiene el potencial de ofrecer información valiosa para

la prevención de lesiones, la optimización del entrenamiento y el desarrollo de protocolos de rehabilitación, beneficiando a jugadores, entrenadores y profesionales de la salud deportiva.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El fútbol soccer es un deporte de altas exigencias físicas y que con el tiempo se ha convertido en un deporte significativamente más rápido. A menudo, un jugador de futbol soccer realiza 50 o más sprints en un partido, y estas acciones pueden desempeñar un papel vital en la determinación del resultado del juego (Haugen et al., 2014). Los jugadores de soccer también deben cambiar de dirección más de mil veces por partido, o aproximadamente cada 6-7 segundos. Para los jugadores, la velocidad es un componente clave que contribuye a la calidad final del rendimiento físico (Small et al., 2010).

Un gran número de acciones intensas de alta velocidad, como acelerar, desacelerar, saltar, girar y dar patadas requieren que los músculos isquiotibiales se desempeñen en una posición de estiramiento extremo (Bangsbo et al., 2006). Esto significa que los desequilibrios significativos de la fuerza muscular pueden provocar sobrecargas musculares que causen malestar muscular por fatiga y aumentar el riesgo de lesiones.

La fuerza isocinética se define como la fuerza que se ejerce sobre un punto articular. Esta fuerza puede ser valorada por medio de estudios en donde se muestra de forma cuantitativa la fuerza, la potencia y el trabajo de las fuerzas que fueron aplicadas sobre los grupos musculares. También, la fuerza isocinética se considera como un método de evaluación útil para procesar datos cuantitativos de la capacidad muscular (Huesa Jiménez et al., 2005).

El ejercicio isocinético puede ser empleado para medir la capacidad que tienen los grupos musculares para generar una fuerza o torque máximo; así como también puede ser empleado como una forma de ejercicio que permite restablecer el nivel de fuerza posterior a sufrir alguna lesión o como una forma de entrenamiento.

Existen diversos tipos de contracciones musculares que pueden ser clasificadas con base en el tipo de movimiento producido o la ausencia de este.

- **Fuerza heterométrica excéntrica:** Se produce cuando la resistencia externa es mayor que la tensión que genera el músculo. En consecuencia, se produce un estiramiento del músculo denominada acción excéntrica. Asimismo, al producirse movimiento articular también corresponde con una acción dinámica (Kroemer, 1999).
- **Fuerza heterométrica concéntrica:** La tensión muscular es mayor que la resistencia externa lo que provoca un acortamiento y disminución de la longitud del músculo. Esto representa la acción principal de los músculos y recibe el nombre de acción concéntrica. Este acortamiento del músculo junto con la preservación de la longitud de los tendones produce una variación en el ángulo articular y en consecuencia, movimiento. Por esta razón, las acciones concéntricas son consideradas como acciones dinámicas (Ito et al., 1998).
- **Fuerza isométrica:** Se produce cuando la fuerza generada por los músculos es igual a la resistencia externa, lo que resulta en una acción estática en la que la longitud del músculo

permanece constante. Sin embargo, esta aparente ausencia de movimiento externo no es completamente real, ya que a nivel interno, los músculos sufren variaciones en su longitud causadas por las propias características elásticas de los tendones que se alargan al contraerse las fibras musculares permaneciendo estable la longitud total del músculo, manteniéndose constante el ángulo articular. (Komi et al., 1978).

Encontrar el déficit funcional puede ayudar a tener un control correcto y aumentar la efectividad de los programas de rehabilitación y prevención de lesiones para los deportistas y los no deportistas (Impellizzeri et al., 2007). La dinamometría isocinética de extensión de rodilla es uno de los métodos más empleados para medir la fuerza y las asimetrías bilaterales en las extremidades inferiores. Esta evaluación se distingue por mantener una velocidad angular constante mientras se ejecuta un movimiento de cadena cinética enfocado en una sola articulación (Croisier et al., 2008).

La dinamometría isocinética es un medio para ejercitar y evaluar la fuerza muscular de las diferentes extremidades utilizando la producción de torque máximo a una velocidad específica de movimiento del miembro. El sistema iguala el esfuerzo del sujeto y mantiene una velocidad constante. Se pueden evaluar tanto las contracciones musculares concéntricas como excéntricas (Mendoza & Miller, 2014).

La dinamometría isocinética utiliza protocolos estandarizados que garantizan un elevado nivel de confiabilidad y precisión en cada evaluación, siempre que sea realizada por personal capacitado y cumpliendo con las normativas de la prueba, lo que permite mantener un margen de

error muy reducido (Ayala, Sainz de Baranda, De Ste Croix, et al., 2012; Ayala, Sainz de Baranda, de Ste Croix, et al., 2012; Drouin et al., 2004).

Los resultados de una evaluación isocinética generalmente se expresan como el valor de torque máximo desarrollado por el grupo muscular evaluado. También es posible evaluar el trabajo realizado por el mismo grupo muscular durante los diferentes ángulos, la potencia desarrollada en la articulación y la resistencia a la fatiga.

Tras una evaluación isocinética, los protocolos de entrenamiento suelen definirse en función de los tipos de contracción muscular (concéntrica o excéntrica), la velocidad angular establecida y la cantidad de repeticiones. La selección del protocolo adecuado depende de las características del individuo, los objetivos planteados y si el entrenamiento se enfoca en las extremidades superiores o inferiores. Los dispositivos isocinéticos permiten generar tanta fuerza y movimiento angular como les sea posible, manteniendo una velocidad predeterminada. Si la velocidad angular de la extremidad alcanza o supera el límite establecido, el dinamómetro aplica una fuerza opuesta equivalente para garantizar una tasa de movimiento constante (Hammami et al., 2012).

La resistencia isocinética ofrece varias ventajas frente a otras modalidades de ejercicio. Una de sus principales ventajas es que permite trabajar un grupo muscular a su máximo potencial a lo largo de todo el rango de movimiento de una articulación. Además, representa una alternativa más segura en procesos de rehabilitación, ya que el mecanismo de resistencia del dinamómetro se desactiva automáticamente si el paciente experimenta dolor o molestias.

Asimismo, el entrenamiento isocinético es útil para cuantificar la capacidad de un grupo muscular para generar torque o fuerza, y resulta eficaz como método para restaurar los niveles de fuerza de un grupo muscular tras una lesión (Jee, 2015).

Las principales variables que se toman en cuenta durante la realización de la dinamometría isocinética son:

- Velocidad de movimiento: velocidades lentas ($\leq 60^\circ/\text{s}$). Velocidades rápidas ($\geq 180^\circ/\text{s}$).
- Rango de movimiento: Definido específicamente para cada articulación y tipo de movimiento, teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por la patología particular.
- Tipo de contracciones: Concéntricas o excéntricas.
- Ritmo de trabajo: De forma continua, ya sea de forma superpuesta o contracción por contracción.

Además, las magnitudes físicas empleadas durante la realización de la dinamometría isocinética consisten en:

- **Fuerza (Newton):** Es el resultado de multiplicar la masa desplazada por la aceleración generada. Refleja la acción efectiva del músculo.
- **Momento:** Newton por metro
- **Trabajo (Joules):** Es la fuerza aplicada multiplicada por la distancia recorrida, representando la energía generada. Gráficamente, se visualiza como el área bajo la curva del momento.
- **Potencia (Watts):** Es el trabajo realizado en función del tiempo invertido. Resulta útil en actividades repetitivas, donde se evalúa la eficiencia del trabajo a lo largo del tiempo.

Las velocidades de ejercicio isocinético usualmente usadas para el modo concéntrico varían de 0°/s a 300°/s. Se hacen distinciones entre velocidades bajas (de 0°/s a 100°/s), velocidades medias (de 100°/s a 200°/s) y velocidades altas (de 200°/s a 300°/s). Las velocidades sugeridas para el modo excéntrico son generalmente más bajas, y nunca exceden los 150°/s. En cuanto al número de repeticiones, el número para velocidades bajas no excede las 5 repeticiones debido a la fatiga inducida en los músculos entrenados. Para velocidades más altas, el número de repeticiones varía de 5 a 10 repeticiones. Las pruebas de resistencia se realizan frecuentemente a alta velocidad (mínimo de 180°/s) y el número de repeticiones puede llegar a 50 repeticiones (Rochcongar, 2004).

La evaluación del desequilibrio de la fuerza muscular puede ser un elemento importante para optimizar el proceso de entrenamiento de los jugadores de fútbol. Los jugadores de fútbol pueden mostrar un desarrollo desigual de las extremidades derecha e izquierda debido a ciertas acciones técnicas realizadas en el deporte, y este desarrollo desigual puede causar asimetrías funcionales o incluso estructurales. Una asimetría de lado a lado mayor del 15% puede aumentar el riesgo de lesiones de rodilla (Croisier et al., 2002, 2008). Los patrones de movimiento resultan de hábitos, actividades típicas, dominancia de la pierna y lesiones previas (Coombs & Garbutt, 2002).

Las asimetrías entre los músculos de la pierna derecha e izquierda inferiores al 9% indican que estos grupos musculares están bien equilibrados. Cuando la diferencia en la actividad muscular entre la extremidad derecha e izquierda o el lado del cuerpo se encuentra entre el 9% y

el 18%, podemos observar una tendencia hacia la asimetría. Una asimetría mayor al 18% indica desequilibrios graves, y su origen debe definirse y buscar acciones para evitar lesiones (Alentorn-Geli et al., 2009; Colyer & McGuigan, 2018a).

Las asimetrías en la fuerza muscular pueden afectar negativamente el rendimiento específico y las habilidades relacionadas con el fútbol, limitando significativamente el rendimiento deportivo de los jugadores. Los jugadores de fútbol pueden presentar este desarrollo desigual de las extremidades derecha e izquierda debido a ciertas acciones técnicas que se realizan en el deporte, y dicho desarrollo desigual puede causar asimetrías funcionales o incluso estructurales.

Un estudio realizado por Śliwowski y colaboradores encontraron que el desequilibrio y la asimetría en la fuerza muscular son predictores especialmente importantes de diferentes lesiones en los jugadores de fútbol (Śliwowski et al., 2024). Múltiples autores han analizado la relación entre las lesiones que se presentan en los jugadores y el grado de asimetría que se tiene. Una asimetría entre grupos musculares derechos e izquierdos mayor del 15% (Croisier et al., 2002, 2008) puede aumentar el riesgo de lesiones de rodilla. Los patrones de movimiento son resultado de hábitos, actividades típicas, dominancia de la pierna y lesiones previas (Coombs & Garbutt, 2002). Las asimetrías entre los músculos de la pierna derecha e izquierda por debajo del 9% indican que estos grupos musculares están bien equilibrados (Pietraszewski et al., 2020).

Cuando la diferencia en la fuerza muscular entre la extremidad derecha e izquierdo se encuentra con valores superiores al 10% podemos observar un desequilibrio de las fuerzas. Una

asimetría mayor al 18% indica desequilibrios graves, y amerita un estudio del estado del paciente para buscar una causa, así como el establecer un plan de trabajo para corregirlo y evitar lesiones (Alentorn-Geli et al., 2009; Colyer & McGuigan, 2018b). El desequilibrio de fuerza entre los músculos isquiotibiales y cuádriceps es un predictor esencial de distensión de isquiotibiales (Croisier et al., 2002) y lesiones del ligamento cruzado anterior (More et al., 1993).

Se han identificado varios factores que facilitan y limitan la presencia de desequilibrio y asimetría en los jugadores de fútbol. Uno de los factores que facilitan la asimetría es el tiempo de entrenamiento, y la investigación muestra que cuanto más largo es el tiempo de entrenamiento, mayor es la asimetría, particularmente en los jugadores de fútbol profesionales (Hart et al., 2016). Por el contrario, uno de los factores que limita la asimetría es la edad de los atletas. A pesar de su mayor experiencia, los jugadores mayores mostraron una menor asimetría en la fuerza y mayores índices de fuerza en comparación con los atletas jóvenes (Śliwowski et al., 2024).

En el estudio de Barrué-Belou y su equipo, en donde obtuvieron valores absolutos y normalizados del torque máximo de los músculos flexores y extensores de la rodilla, encontró que para los hombres, el torque absoluto de los extensores fue de $199.8 \pm 47.3 \text{ N}\cdot\text{m}$ (rango, 99.3-311.5 $\text{N}\cdot\text{m}$) y de $89.8 \pm 21.0 \text{ N}\cdot\text{m}$ (rango, 51.8-137.2 $\text{N}\cdot\text{m}$) para los flexores; mientras que el torque normalizado de los extensores fue de $2.74 \pm 0.58 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$ (rango, 1.51-4.08 $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$) y de $1.24 \pm 0.30 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$ (rango, 0.64-2.05 $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$) para los flexores (Barrué-Belou et al., 2024).

Otro estudio realizado por Šarabon y colaboradores encontraron que en población masculina el torque máximo de los músculos extensores era de 2.50-3.06 N·m·kg⁻¹ y para los flexores de 0.96-1.54 N·m·kg⁻¹ (Šarabon et al., 2021).

Aunque las ventajas de las pruebas isocinéticas son bien conocidas, y continúan siendo más comúnmente aplicadas durante el proceso de rehabilitación, evaluación y entrenamiento de la fuerza

Aunque las ventajas de las pruebas isocinéticas son ampliamente reconocidas y se aplican con frecuencia en el proceso de rehabilitación, evaluación y entrenamiento de la fuerza (Croisier et al., 2008; Zakas, 2006) es de gran importancia identificar las diversas variables relevantes para evaluar la asimetría de fuerza bilateral (Menzel et al., 2013).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO DE ESTUDIO

Observacional, Descriptivo, Transversal, Retrospectivo, Poblacional y de Asociación.

3.2 LUGAR DONDE SE DESARROLLARÁ EL PROYECTO

Servicio de Medicina del Deporte y Rehabilitación del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”

3.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SUJETOS

Criterios inclusión

- Expedientes de jugadores profesionales de futbol soccer en el periodo 2018 – 2021
- Mayores de 18 años.

Criterios exclusión

- Pacientes con lesiones musculoesqueléticas de extremidad inferior recientes al momento de la realización de la prueba

Criterios de eliminación

- Pacientes con información incompleta de alguna de las variables de interés.

3.4 CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Se realizó un estudio poblacional en donde se incluyeron a todos los sujetos que cumplan con los criterios de inclusión en el periodo comprendido entre Enero 2018 y Diciembre 2021

3.5 CUADRO DE VARIABLES

Variable	Definición	Tipo de variable	Unidades de medida
Edad	Tiempo que ha vivido una persona contando desde su nacimiento.	Numérica discreta	Años
Peso	Peso del paciente en kilogramos	Numérica continua	kg
Talla	Talla del paciente en metros	Numérica continua	m
Pico de torque en extensión 60°	Momento de fuerza máximo de extensión a 60°	Numérica continua	N·m
Pico de torque en extensión 90°	Momento de fuerza máximo de extensión a 90°	Numérica continua	N·m
Pico de torque en extensión 180°	Momento de fuerza máximo de extensión a 180°	Numérica continua	N·m
Pico de torque en flexión 60°	Momento de fuerza máximo de flexión a 60°	Numérica continua	N·m
Pico de torque en flexión 90°	Momento de fuerza máximo de flexión a 90°	Numérica continua	N·m

Pico de torque en flexión 180°	Momento de fuerza máximo de flexión a 180°	Numérica continua	N·m
Déficit extensión 60°	Diferencia de fuerza muscular a la extensión a 60°	Numérica continua	N
Déficit extensión 90°	Diferencia de fuerza muscular a la extensión a 90°	Numérica continua	N
Déficit extensión 180°	Diferencia de fuerza muscular a la extensión a 180°	Numérica continua	N
Déficit flexión 60°	Diferencia de fuerza muscular a la flexión a 60°	Numérica continua	N
Déficit flexión 90°	Diferencia de fuerza muscular a la flexión a 90°	Numérica continua	N
Déficit flexión 180°	Diferencia de fuerza muscular a la flexión a 180°	Numérica continua	N

3.6 PLAN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la estadística descriptiva se reportaron frecuencias y porcentajes para variables categóricas. Para las variables numéricas se reportaron medidas de tendencia central y dispersión (media/mediana; desviación estándar/rango intercuartil).

En la estadística inferencial se evaluó la distribución de la muestra por medio de la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Se compararon variables categóricas por medio de la prueba de χ^2 de Pearson y prueba exacta de Fisher. Para comparar variables numéricas entre grupos independientes se utilizaron las pruebas de t-Student y la U de Mann Whitney. Para comparar variables numéricas entre más de dos grupos se utilizaron las pruebas de ANOVA de un factor y la prueba de Kruskal-Wallis. Se utilizó el método propuesto por Bonferroni y la prueba de Dunn para realizar comparación entre subgrupos.

Se consideró un valor de $p \leq 0.05$ y un intervalo de confianza al 95% como estadísticamente significativo. Se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS versión 29 para la realización del análisis.

3.7 PROCEDIMIENTOS

Se evaluaron los expedientes de jugadores profesionales de futbol soccer en el periodo comprendido entre Enero 2018 y Diciembre 2021 recabando información de las pruebas de isocinecia realizadas en los jugadores.

El protocolo utilizado durante la prueba de isocinecia es el siguiente:

- Fuerza máxima (60°/s) 5 repeticiones
- Potencia (90°/s) 10 repeticiones
- Resistencia a la fatiga (180°/s) 15 repeticiones
- Ratio agonista/antagonista (60°/s)

3.8 ASPECTOS ÉTICOS

De acuerdo con los principios establecidos en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, adoptada en la 52ª Asamblea General en Edimburgo, Escocia, en el año 2000, y considerando los artículos 11, 13 y 15, así como las últimas enmiendas de la declaración, que subrayan que la investigación debe basarse en un conocimiento detallado del campo científico, se realizó una revisión exhaustiva de la bibliografía para redactar los antecedentes y la metodología del proyecto.

Esta investigación de acuerdo con el “Reglamento de la Ley General de la Salud en Materia de Investigación para la Salud” en su Título 2do, Capítulo 1ro, Artículo 17, Fracción I, se considera como investigación sin riesgo.

3.9 MECANISMOS DE CONFIDENCIALIDAD

La información de los pacientes fue utilizada y revelada exclusivamente para las actividades y operaciones relacionadas con el protocolo de investigación, y en circunstancias limitadas, como cuando sea requerido por ley. El uso y divulgación de los datos de los pacientes se limitó al estándar del "mínimo necesario" y solo fue accesible a los investigadores vinculados al protocolo.

No se incluyeron datos personales identificables de los pacientes en la base de datos, y se empleó un código identificador único para cada paciente. El acceso a la base de datos estuvo restringido únicamente a los miembros del equipo de investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Se analizaron un total de 131 evaluaciones de jugadores profesionales de futbol soccer de una edad mediana de 27 años (RIC 21 –30). El peso medio de los jugadores fue de 76.09 kg (DE 7.9) con una talla media de 1.79 m (DE 0.07) y un IMC medio de 23.49 kg/m² (DE 1.65). Se obtuvieron porcentajes de grasa corporal medida por plicometría de 15.04% (DE 3.55) y de 13.2% (DE 3.39) al ser medido por impedancia. Dentro de las posiciones de juego, el 29% (n=38) de los jugadores eran mediocampistas, 22.1% (n=29) delanteros, 19.1% (n=25) defensas, 18.3% (n=24) laterales y 11.5% (n=15) porteros.

Tabla 1. Características de la población

	Población general (n=131)
Edad (años) mediana, (RIC)	27.0 (21.0 – 30.0)
Peso (kg) media, (DE)	76.09 (7.9)
Talla (m) media, (DE)	1.79 (0.07)
IMC (kg/m²) media, (DE)	23.49 (1.65)
Grasa corporal por plicometría (%) media, (DE)	15.04 (3.55)
Grasa corporal por impedancia (%) media, (DE)	13.2 (3.39)
Endo mediana, (RIC)	2.2 (1.7 – 2.7)
Meso media, (DE)	4.62 (0.88)
Ecto mediana, (RIC)	2.4 (2.0 – 3.0)
Posición n,(%)	
Delantero	29 (22.1)
Mediocampista	38 (29)
Lateral	24 (18.3)
Defensa	25 (19.1)
Portero	15 11.5)

4.1 FUERZAS A LA FLEXIÓN

Se encontró que los picos de torque en la prueba de 60° fueron de 128.76 Nm (DE 29.5) en la pierna derecha y 123.33 Nm (DE 28.12) en la pierna izquierda, teniendo un déficit medio de 5.27% (DE 13.3) durante esta misma prueba. Durante la realización de la prueba a 180° los picos de torques máximos alcanzados fueron de 101.98 Nm (DE 22.78) en la pierna derecha y de 99.24 Nm (DE 21.74) en la pierna izquierda, teniendo un déficit mediano de 6.4% (RIC 0.5 – 13.0)

Al comparar los picos de torque entre las posiciones de los jugadores se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los picos de torque de la pierna izquierda en la prueba de 60° ($p=0.009$), en los picos de torque de la pierna derecha en la prueba de 180° ($p=0.002$) y en los de la pierna izquierda en la prueba de 180° ($p<0.001$). En el análisis por subgrupos se encontró que en los picos de torque de la pierna izquierda en la prueba de 60° los porteros eran más fuertes que los laterales ($p=0.047$) y que los mediocampistas ($p=0.010$).

Las diferencias en los picos de torque de la pierna derecha en la prueba de 180° se encontró que los porteros eran más fuertes que los laterales ($p=0.006$) y que los mediocampistas ($p=0.028$). Finalmente, en los picos de torque de la pierna izquierda en la prueba de 180° se los porteros eran más fuertes que los laterales ($p=0.007$) y más fuertes que los mediocampistas ($p<0.001$), adicionalmente los delanteros eran más fuertes que los mediocampistas ($p=0.049$).

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los picos de torque de la pierna derecha durante la prueba de 180° y las edades de los jugadores ($p=0.026$). En el análisis por subgrupos se encontró que la diferencia se encontraba entre los jugadores con una edad de 25–30 años y los jugadores de más de 30 años ($p=0.023$).

Tabla 2. Picos de torque de flexión entre posiciones de juego

	Pierna derecha a 60°/sec	Pierna izquierda a 60°/sec	Pierna derecha a 180°/sec	Pierna izquierda a 180°/sec
Portero	140.11 (22.59)	143.54 (23.78)	116.65 (17.50)	116.29 (19.10)
Defensa	126.24 (36.34)	120.36 (32.17)	104.17 (28.83)	102.89 (26.92)
Lateral	118.89 (24.99)	117.86 (28.66)	91.48 (18.08)	93.12 (17.12)
Mediocampista	124.48 (26.16)	115.83 (24.67)	96.54 (19.93)	90.16 (18.81)
Delantero	139.09 (31.07)	129.93 (25.6)	108.61 (21.48)	104.77 (18.45)

4.2 FUERZAS A LA EXTENSIÓN

Durante la realización de la prueba de 60° se encontró que los picos de torque máximos fueron de 234.22 Nm (DE 46.86) en la pierna derecha y de 225.76 Nm (DE 50.96) en la pierna izquierda, teniendo un déficit mediano de 1.8% (RIC -5.0 – 10.4).

En la prueba de 180° se obtuvo un pico de torque mediano de 169.3 Nm (RIC 154.05 – 188.1) en la pierna derecha y un pico de torque medio de 165.39 Nm (DE 31.25) en la pierna izquierda, teniendo un déficit medio de 2.5% (DE 11.28).

Al comparar los picos de torque entre las posiciones de los jugadores se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los picos de torque de la pierna derecha a 60°

($p=0.016$), pierna izquierda a 60° ($p<0.001$), pierna derecha a 180° ($p<0.001$) y pierna izquierda a 180° ($p<0.001$).

En el análisis por subgrupos se encontró que en los picos de torque en la pierna derecha durante la prueba a 60° los porteros eran más fuertes que los laterales ($p=0.024$) y más fuertes que los mediocampistas ($p=0.033$). En los picos de torque de la pierna izquierda a 60° se encontró que los porteros eran más fuertes que los defensas ($p=0.010$), más fuertes que los laterales ($p=0.001$) así como más fuertes que los mediocampistas ($p=0.002$).

En los picos de torque de la pierna derecha a 180° los porteros fueron más fuertes que los laterales ($p=0.001$) y más fuertes que los mediocampistas ($p<0.001$). Además, los delanteros fueron más fuertes que los mediocampistas ($p=0.038$). En los picos de torque de la pierna izquierda a 180° los porteros fueron más fuertes que los laterales ($p=0.010$) y más fuertes que los mediocampistas ($p=0.003$). Asimismo, los delanteros eran más fuertes que los mediocampistas ($p=0.021$).

Tabla 3. Picos de torque de extensión entre posiciones de juego

	Pierna derecha a $60^\circ/\text{sec}$	Pierna izquierda a $60^\circ/\text{sec}$	Pierna derecha a $180^\circ/\text{sec}$	Pierna izquierda a $180^\circ/\text{sec}$
Portero	267.91 (43.61)	271.91 (51.62)	188.9 (181.0 – 214.0)	187.13 (27.44)
Defensa	227.66 (62.36)	218.67 (58.35)	173.55 (161.8 – 195.15)	168.5 (43.28)
Lateral	221.7 (36.31)	209.23 (43.71)	165.65 (142.05 – 174.53)	154.61 (26.32)
Mediocampista	226.54 (45.33)	214.96 (39.62)	157.7 (147.03 – 171.55)	153.52 (26.14)
Delantero	242.93 (34.66)	235.95 (35.86)	178.35 (157.55 – 207.2)	176.43 (20.43)

4.3 DESBALANCE MUSCULAR (>5%)

Se encontró que en la prueba a 60° el 68.7% de los jugadores tenía desbalance muscular mayor al 5% en la flexión y 64.3% en la extensión. No se encontraron diferencias entre el desbalance muscular en la flexión y los picos de torque de fuerza a la flexión en la pierna derecha ($p=0.953$) ni los picos de torque de la pierna izquierda ($p=0.344$). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el desbalance muscular a la extensión y el pico de torque de extensión de la pierna derecha ($p=0.026$) y con el pico de torque de extensión de la pierna izquierda ($p<0.001$).

Un posterior análisis por regresión logística mostró que los jugadores con picos de torque de extensión de la pierna derecha más altos tenían menor probabilidad de tener desbalance muscular (OR 0.990; 95% IC 0.982 – 0.999; $p=0.028$). De la misma forma se encontró que los jugadores con picos de torque de extensión de la pierna izquierda más altos tenían menor probabilidad de tener desbalance muscular (OR 0.986; 95% IC 0.977 – 0.994; $p=0.001$).

4.4 DESBALANCE MUSCULAR (>10%)

Se encontró que en la prueba a 60° el 44.2% de los jugadores tenía desbalance muscular en la flexión y 35.7% en la extensión. No se encontraron diferencias entre el desbalance muscular en la flexión y los picos de torque de fuerza a la flexión en la pierna derecha ($p=0.769$) ni los picos de torque de la pierna izquierda ($p=0.081$). Se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre el desbalance muscular en extensión y el pico de torque de

extensión de la pierna izquierda ($p < 0.001$). El análisis por regresión logística mostró que los jugadores con picos de torque de extensión de la pierna izquierda más altos tenían menor probabilidad de tener desbalance muscular (OR 0.987; 95% IC 0.979 – 0.995; $p = 0.002$)

4.5 RATIO AGONISTA / ANTAONISTA (AG/ANT)

Al calcular la relación agonista/antagonista se obtuvo una mediana de 54.28% (RIC 47.53 – 62.34) en la pierna derecha y de 53.82% (RIC 48.3 – 62.33) en la pierna izquierda. Al clasificar a los jugadores se encontró que el 16% tenían una relación AG/ANT ideal (60-69%) en la pierna derecha y 16.8% en la pierna izquierda. En la pierna derecha el 70.2% de los jugadores tenían el grupo muscular flexor más fuerte en comparación con el grupo muscular extensor, así como el 69.5% en la pierna izquierda. El 11.5% de los jugadores tenían musculatura extensora más fuerte en la pierna derecha y 11.5% en la pierna izquierda.

Tabla 4. Dinamometría isocinética

	Población general (n=131)
Pico de torque flexión 60°/sec (Nm)	
Derecha media, (DE)	128.76 (29.5)
Izquierda media, (DE)	123.33 (28.12)
Déficit flexión 60°/sec (%) media, (DE)	5.27 (13.3)
Desbalance muscular flexión n,(%)	57 (44.2)
Pico de torque extensión 60°/sec (Nm)	
Derecha media, (DE)	234.22 (46.86)
Izquierda media, (DE)	225.76 (50.96)
Déficit extensión 60°/sec (%) mediana, (RIC)	1.8 (-5.0 – 10.4)
Desbalance muscular extensión n,(%)	46 (35.7)
Pico de torque flexión 180°/sec (Nm)	
Derecha media, (DE)	101.98 (22.78)
Izquierda media, (DE)	99.24 (21.74)
Déficit flexión 180°/sec (%) media, (DE)	6.4 (0.5 – 13.0)
Pico de torque extensión 180°/sec (Nm)	
Derecha mediana, (RIC)	169.3 (154.05 – 188.1)
Izquierda media, (DE)	165.39 (31.25)
Déficit extensión 180°/sec (%) media, (DE)	2.5 (11.28)
Ratio AG/ANT (%)	
Derecha mediana, (RIC)	54.28 (47.53 – 62.34)
Izquierda mediana, (RIC)	53.82 (48.29 – 62.33)
Clasificación ratio AG/ANT derecha n,(%)	
<60%	92 (70.2)
60–69%	21 (16.0)
>69%	15 (11.5)
Clasificación ratio AG/ANT izquierda n,(%)	
<60%	91 (69.5)
60–69%	22 (16.8)
>69%	15 (11.5)

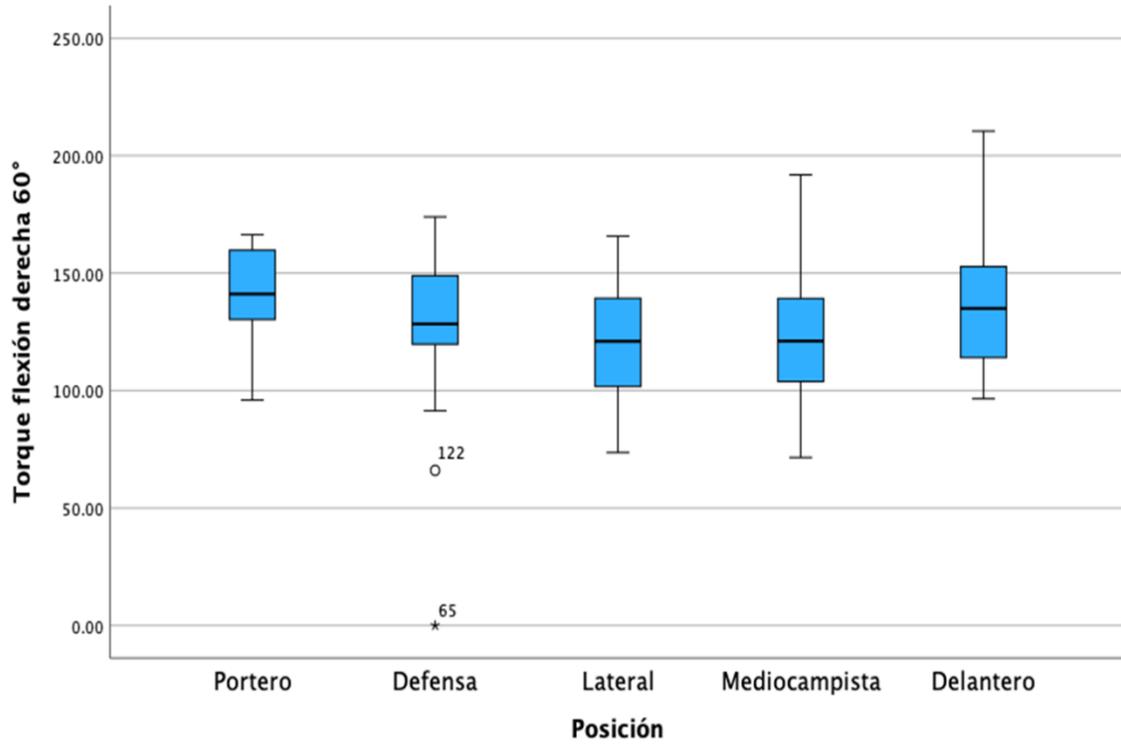


Figura 1. Torques en flexión derecha a 60°.

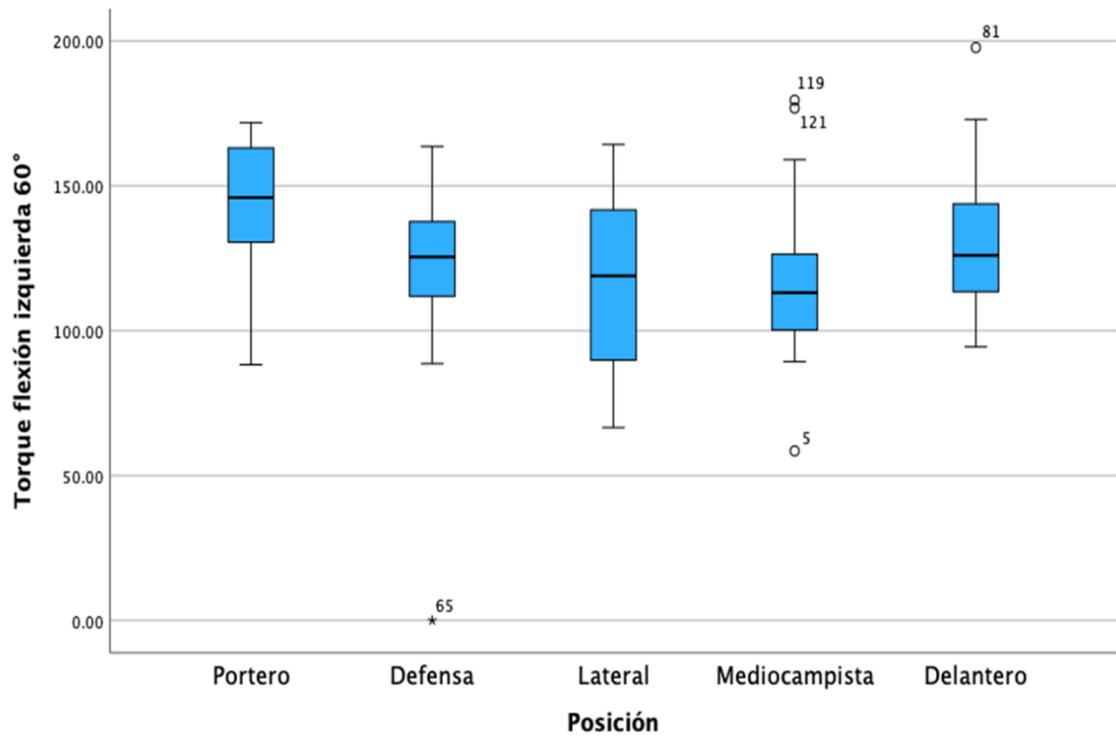


Figura 2. Torques en flexión izquierda a 60°.

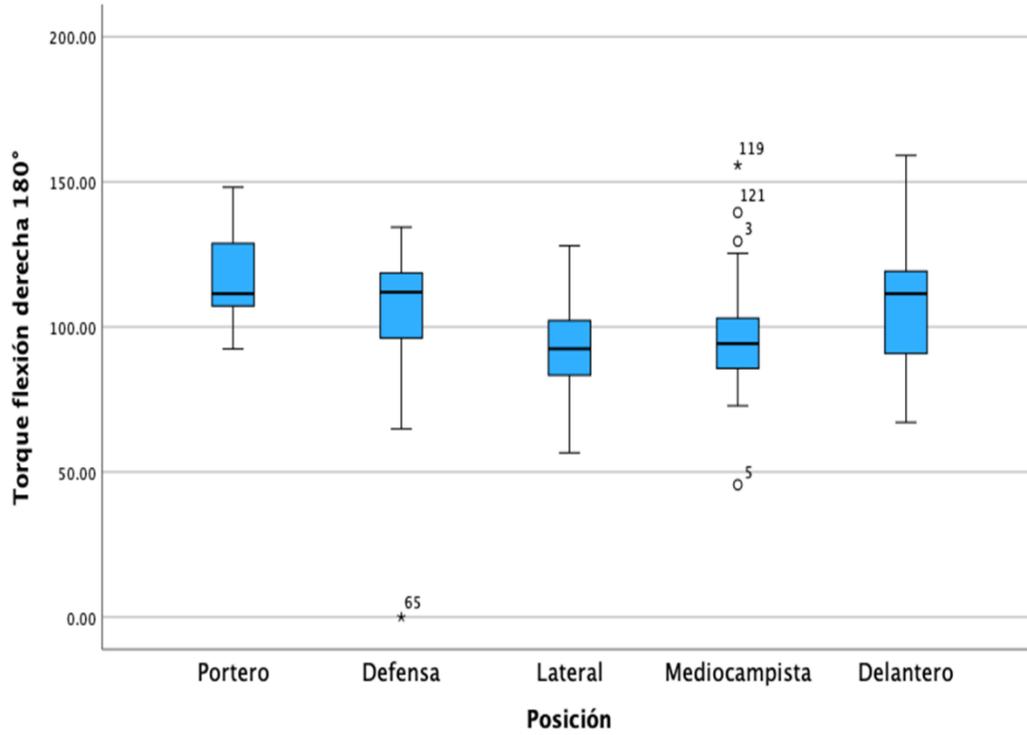


Figura 3. Torques en flexión derecha a 180°.

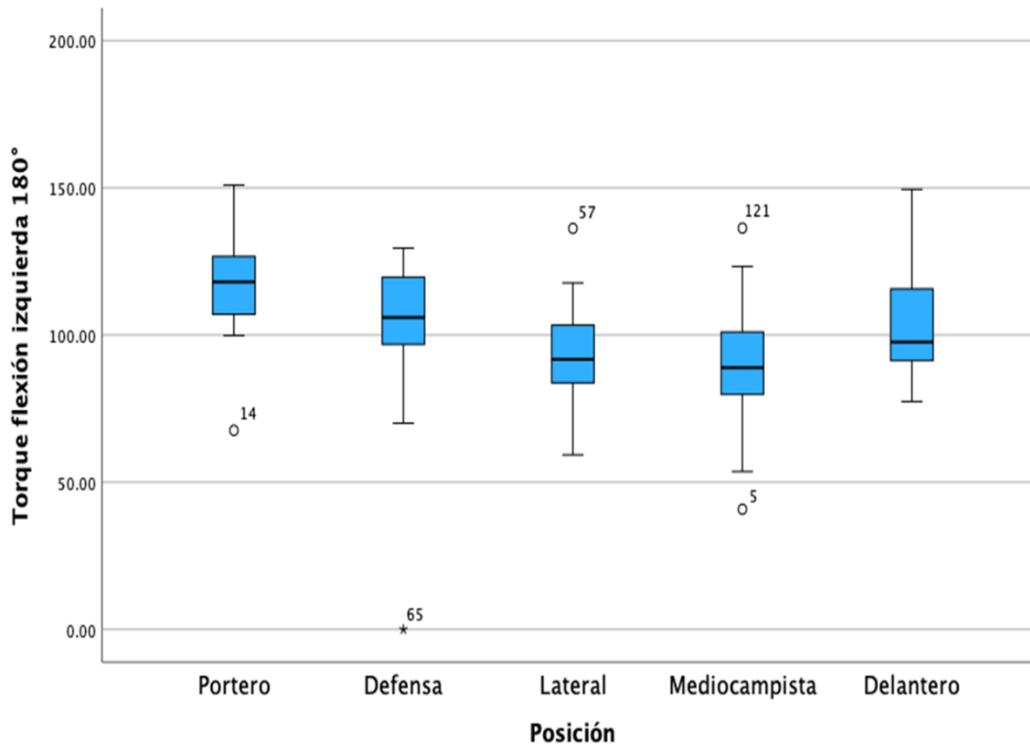


Figura 4. Torques en flexión izquierda a 180°.

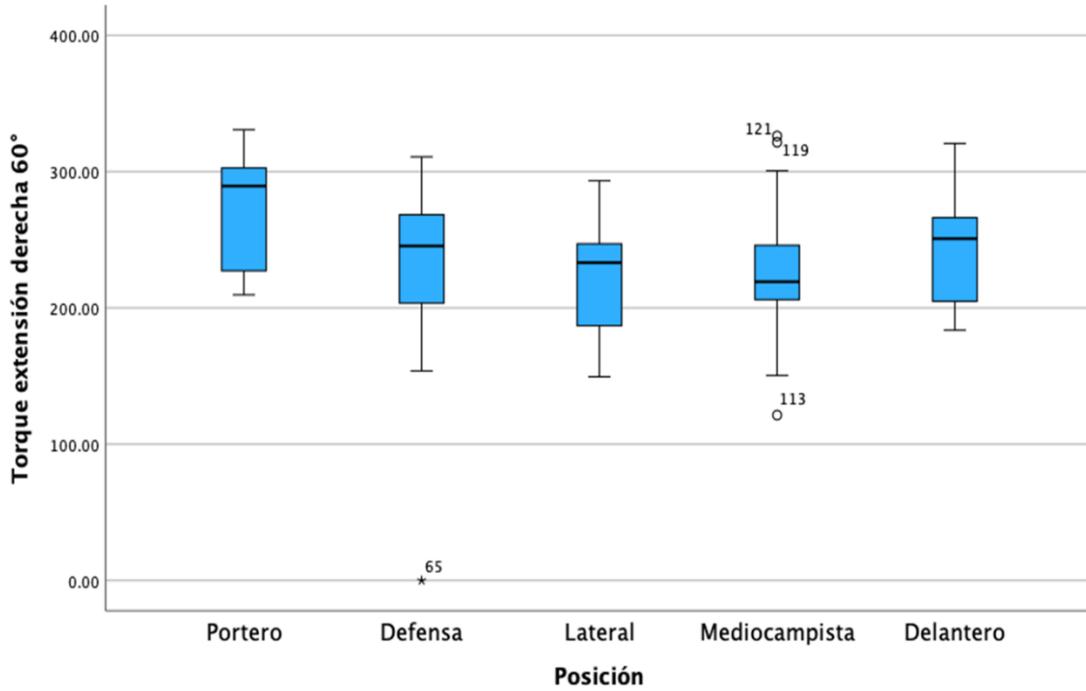


Figura 5. Torques en extensión derecha a 60°.

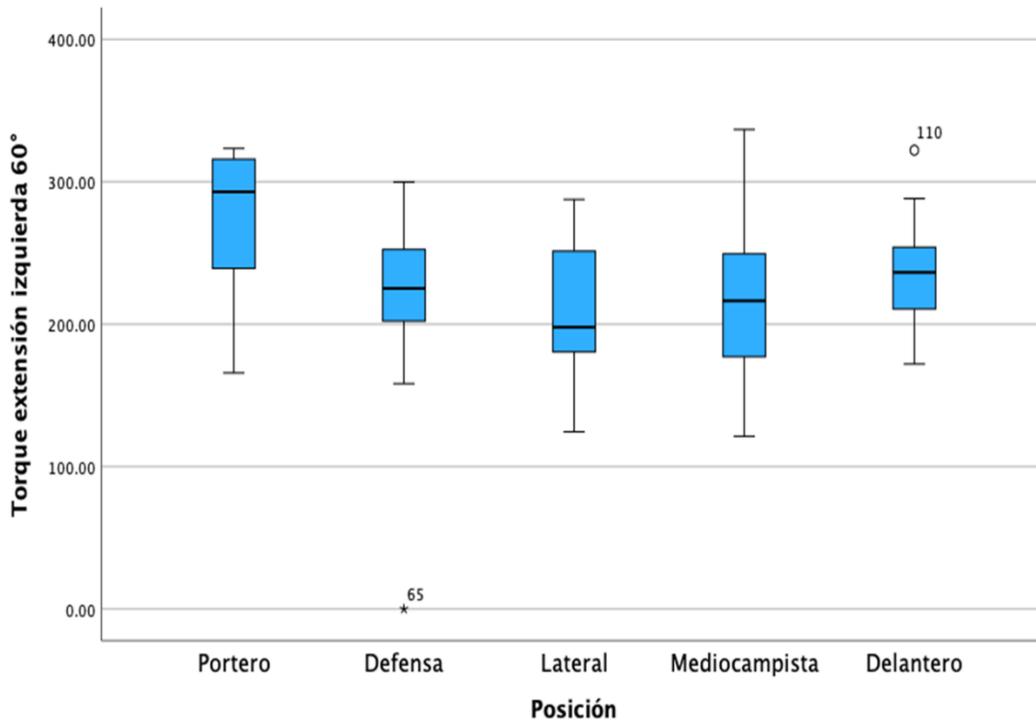


Figura 6. Torques en extensión izquierda a 60°.

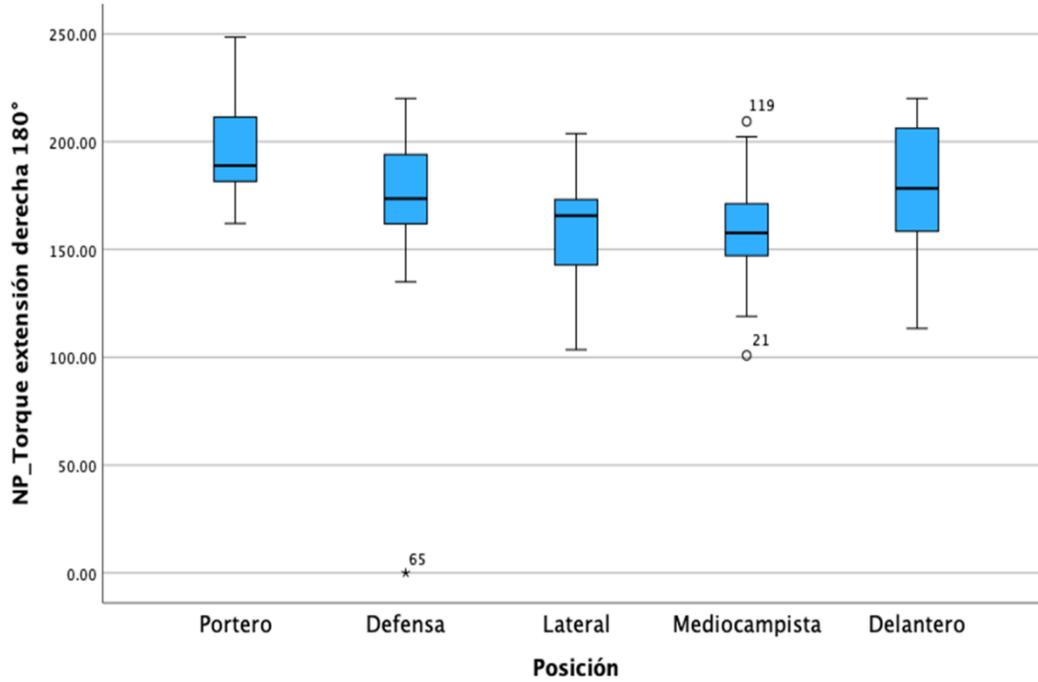


Figura 7. Torques en extensión derecha a 180°.

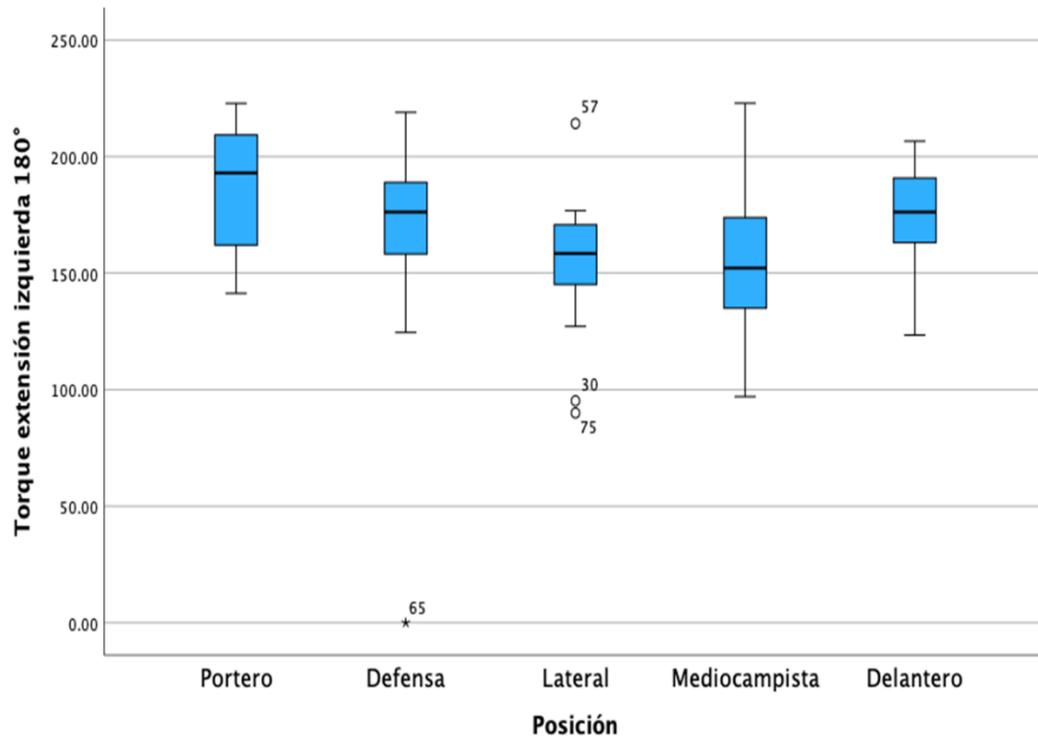


Figura 8. Torques en extensión izquierda a 180°.

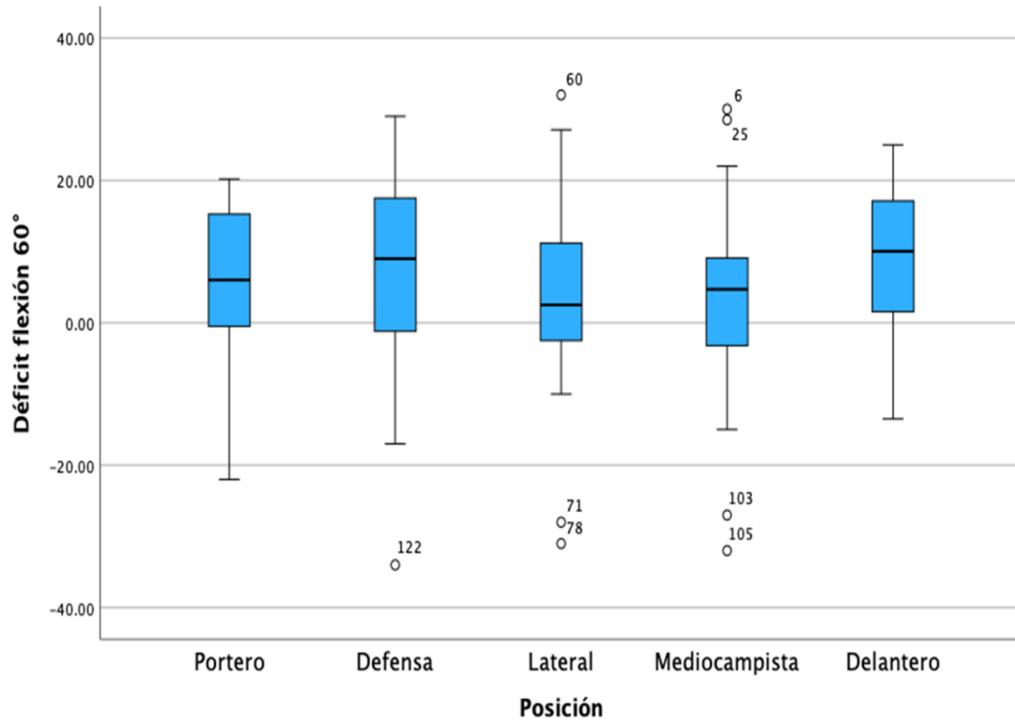


Figura 9. Déficit en flexión a 60°.

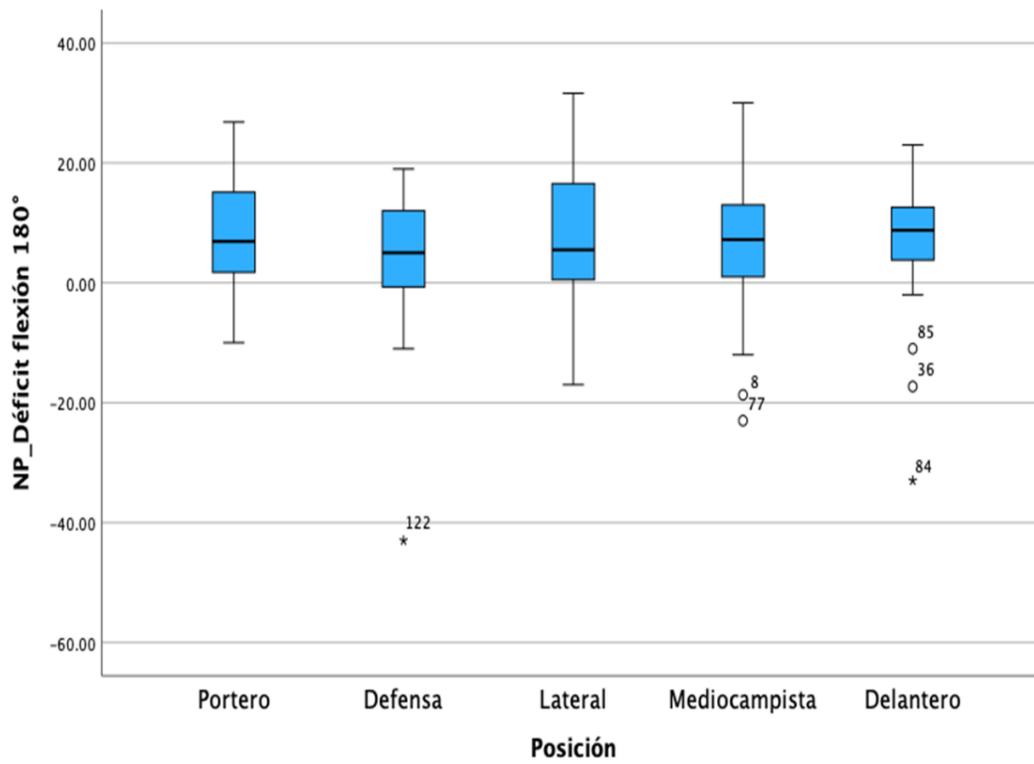


Figura 10. Déficit en flexión a 180°.

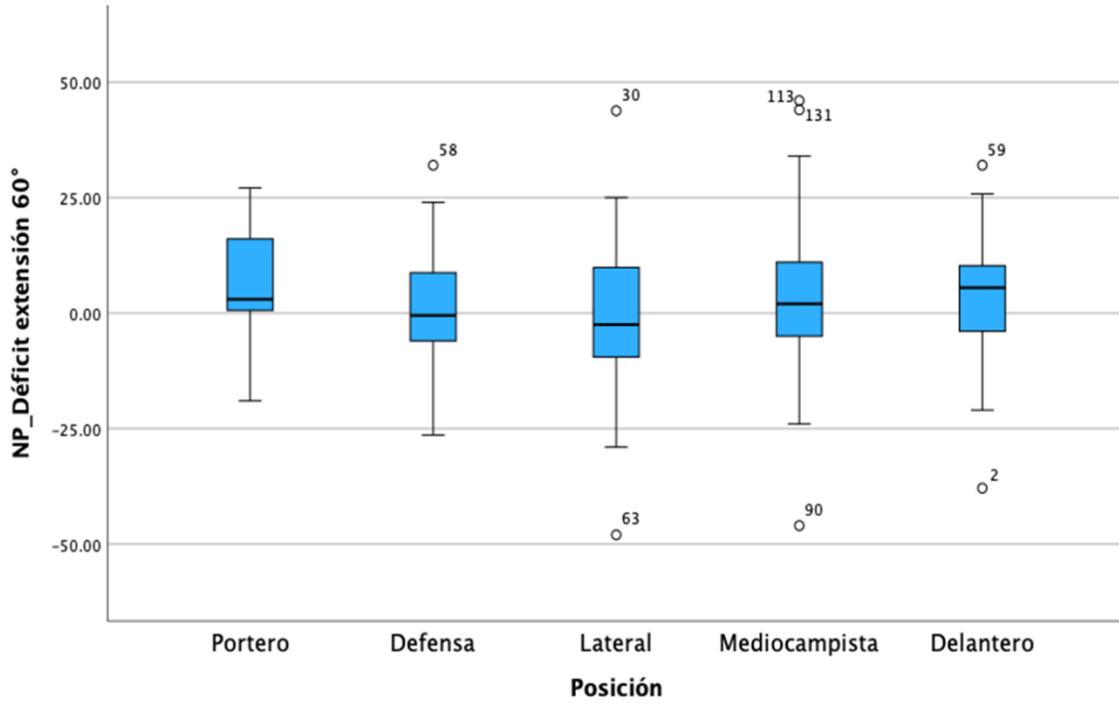


Figura 11. Déficit en extensión a 60°.

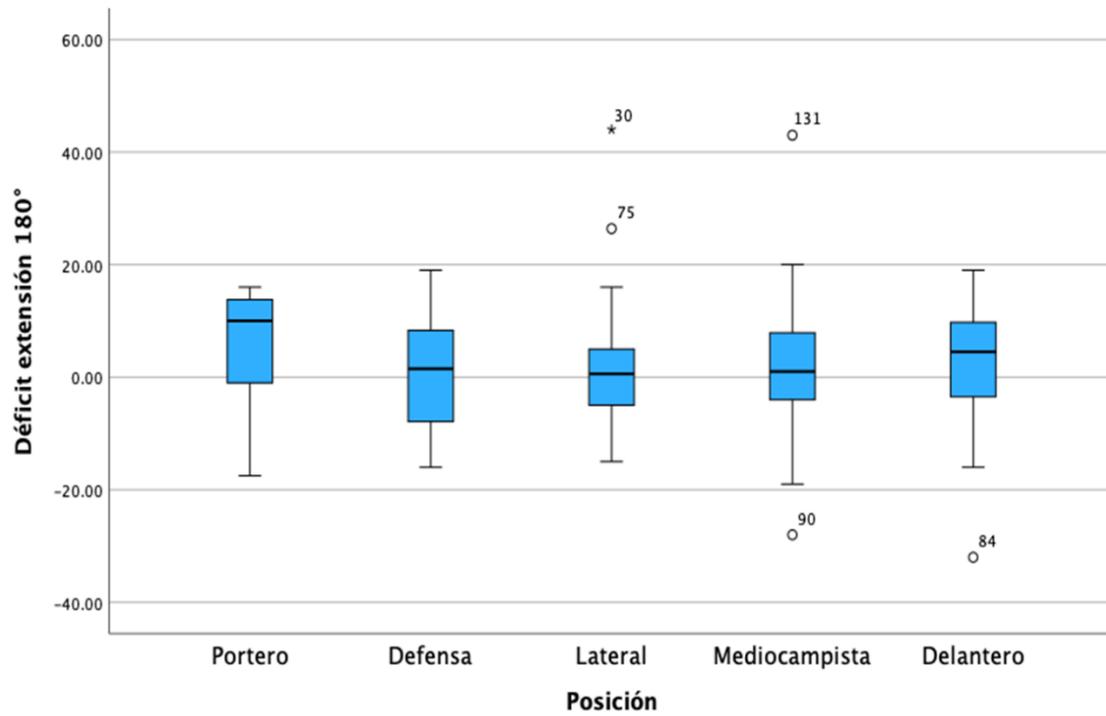


Figura 12. Déficit en extensión a 180°.

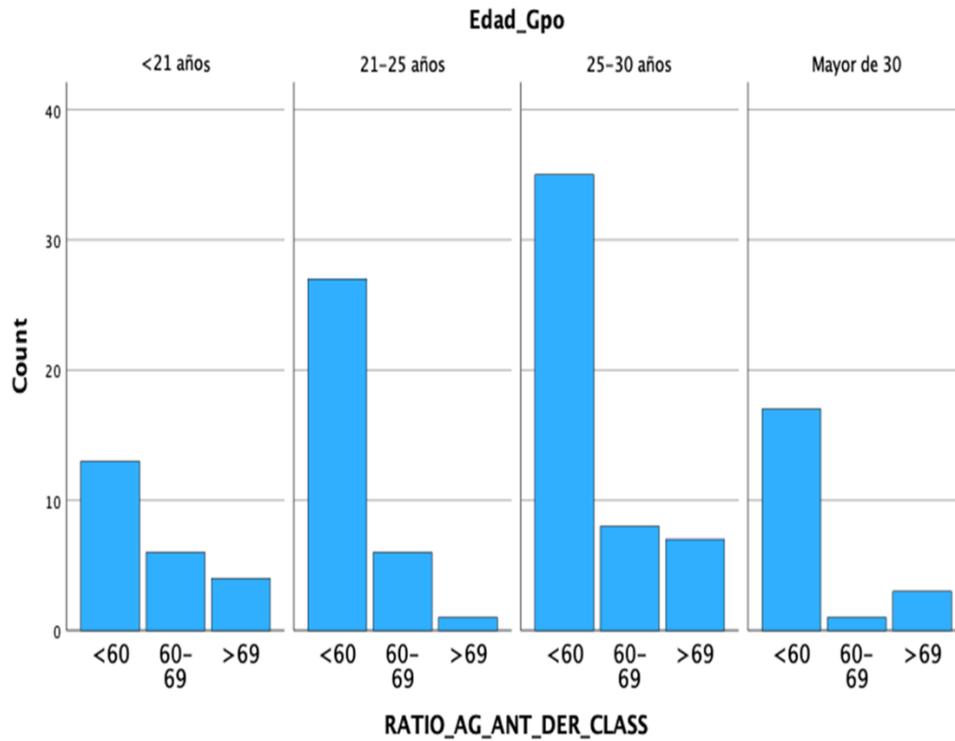


Figura 13. Ratio agonista antagonista por grupo de edad en miembro derecho.

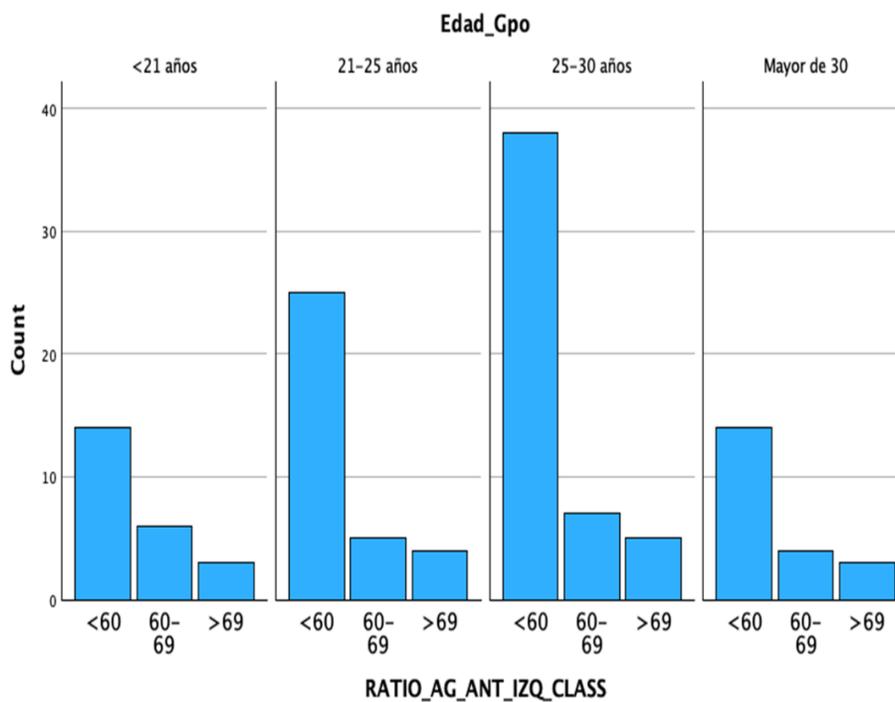


Figura 14. Ratio agonista antagonista por grupo de edad en miembro izquierdo.

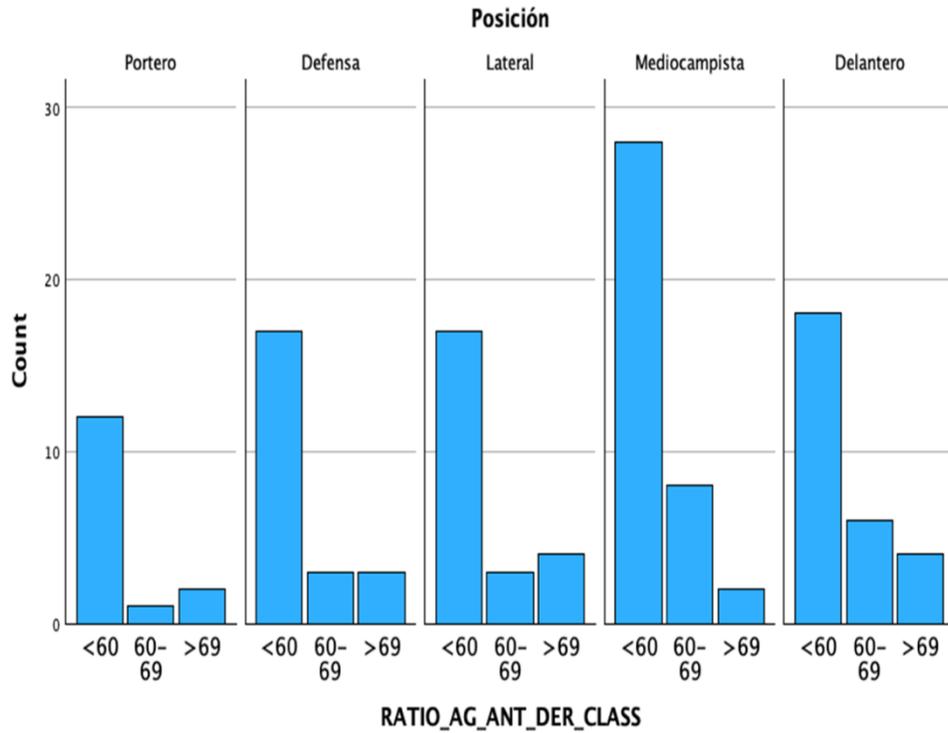


Figura 15. Ratio agonista antagonista por posición en miembro derecho.

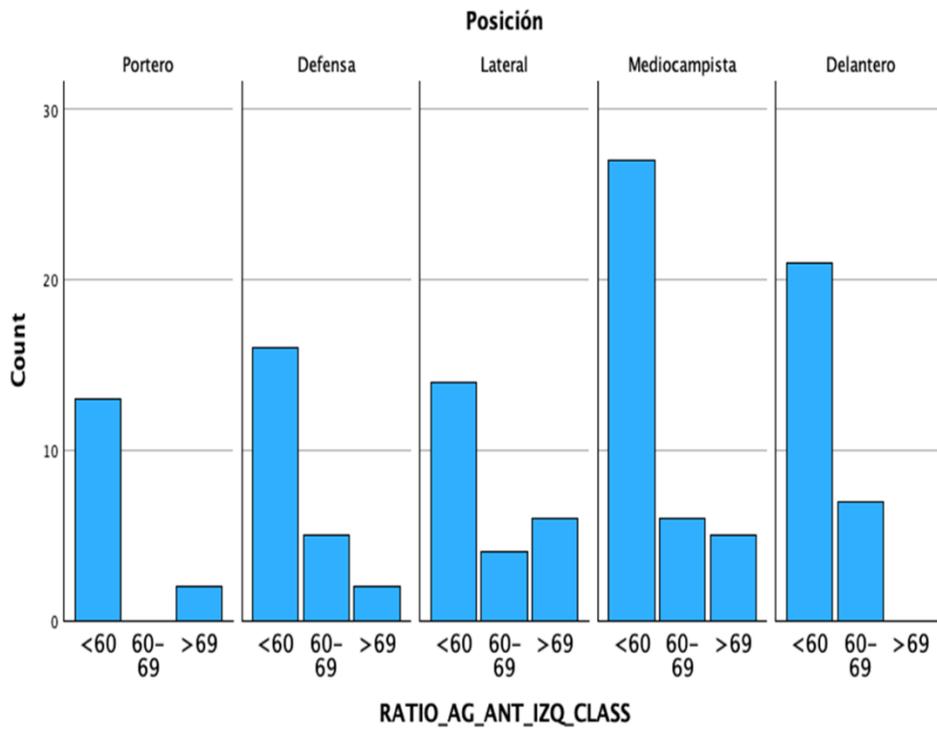


Figura 16. Ratio agonista antagonista por posición en miembro izquierdo.

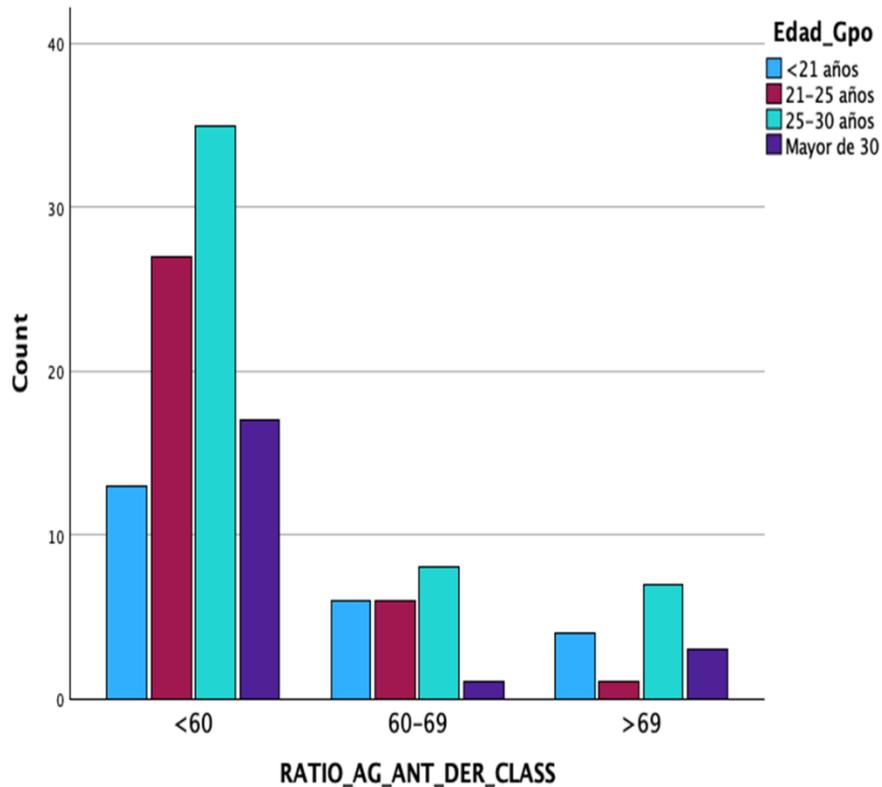


Figura 17. Ratio agonista antagonista por grupo de edad en miembro derecho.

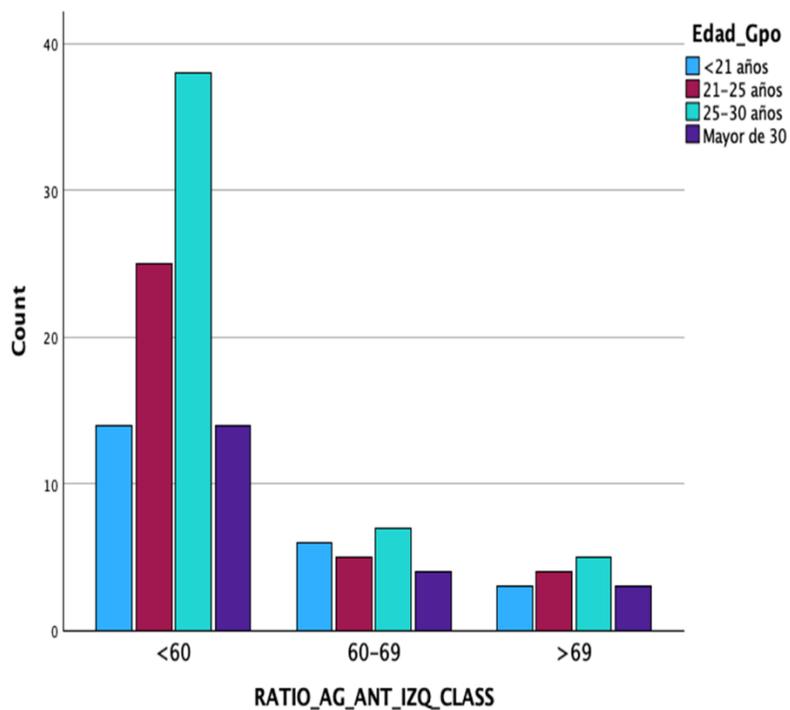


Figura 18. Ratio agonista antagonista por grupo de edad en miembro izquierdo.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

La relación entre la fuerza isocinética de la rodilla y el balance muscular en los atletas es un aspecto crítico del rendimiento deportivo y la prevención de lesiones. En este contexto, el uso de dinamometría isocinética permite medir de manera precisa el torque y fuerza de los músculos que rodean la articulación de la rodilla, especialmente los cuádriceps y los isquiotibiales.

En nuestro estudio se encontró que el 44.2% de los jugadores tenía desbalance muscular en la flexión y 35.7% en la extensión. Esta prevalencia se asemeja a lo visto en un estudio realizado por Gioftsidou y colaboradores (Gioftsidou et al., 2006) en donde se encontró que el 42.9% de los jugadores de soccer analizados tenían desbalance muscular. En este mismo estudio se encontró que la diferencia en los picos de torque a la flexión fue de 17% (DE 10) y de 22% (DE 12) en la extensión durante la prueba de 60°. Esto contrasta con lo encontrado en nuestro estudio en donde los porcentajes de déficit se encontraron de 5.27% para el grupo flexor y de 1.8% para el grupo extensor.

Otro estudio realizado por Lehance encontró que el 56% de los jugadores profesionales de soccer tenían algún desbalance muscular después de ser analizados por medio de dinamometría isocinética (Lehance et al., 2009).

Además, la presencia de desequilibrios en la fuerza de los isquiotibiales se identificó en aproximadamente el 24% de los jugadores de fútbol profesionales en un estudio realizado en Australia (Arden et al., 2015).

En nuestro estudio se encontró que solo el 16% de los jugadores tenían una relación AG/ANT ideal en la pierna derecha y 16.8% en la pierna izquierda. Estudios han demostrado que los jugadores de fútbol senior de élite con frecuencia presentan una relación AG/ANT menor en comparación con los jugadores más jóvenes. Esto a causa de poseer una fuerza relativamente menor de los isquiotibiales y una mayor fuerza de los cuádriceps en el nivel senior lo que puede representar un factor clave en el desarrollo de lesiones (Ishøi et al., 2021).

El desequilibrio entre los músculos agonistas y antagonistas puede llevar a una disminución en la capacidad para estabilizar la articulación de la rodilla durante los movimientos dinámicos, lo que aumenta el riesgo de lesiones como lesiones por distensión de los isquiotibiales y lesiones del ligamento cruzado anterior (Croisier et al., 2008; Zebis et al., 2011).

La literatura sugiere que los jugadores con desequilibrios de fuerza no tratados tienen un riesgo significativamente mayor de lesiones musculares en comparación con aquellos sin desequilibrios (Croisier et al., 2008). Además, corregir estos desequilibrios a través de un entrenamiento de fuerza específico puede reducir la incidencia de tales lesiones.

Algunos estudios sugieren que los extensores de la articulación de la rodilla juegan un papel crucial en el rendimiento en el sprint, lo que indica que se debe considerar una relación AG/ANT equilibrada junto con los valores de torque máximo para una evaluación integral del rendimiento atlético (Diker et al., 2022).

CAPÍTULO VI

CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

Se analizaron 131 estudios de futbolistas profesionales con una media de edad de 27 años. Se observó desbalance muscular mayor al 10% en flexión y extensión de la articulación de la rodilla del 44.2% y 35.7% respectivamente, considerando un umbral del 10%. Las probabilidades de desbalance muscular fueron menores en jugadores con picos de torque más altos en extensión. La relación agonista/antagonista presentó una mediana de 54%, con solo el 16% de los jugadores en el rango ideal.

En nuestro estudio se observaron diferencias significativas en los picos de torque de flexión y extensión entre posiciones específicas de juego siendo la diferencia más significativa la diferencia de fuerza entre los porteros y el resto de las posiciones. Estas diferencias sugieren una variación en los requerimientos musculares según el rol en el campo, especialmente en la pierna izquierda a 60° y en ambas piernas a 180°.

Los jugadores con mayores picos de torque en extensión de ambas piernas demostraron una menor probabilidad de presentar desbalance, lo cual destaca la importancia de fortalecer la musculatura extensora para reducir el riesgo de asimetrías que puedan predisponer a lesiones.

Por último, la relación agonista/antagonista (AG/ANT) muestra que solo un pequeño porcentaje de los jugadores alcanzó la relación ideal, con una mayoría que presenta una musculatura flexora más fuerte. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar

programas de entrenamiento que busquen equilibrar los picos de torque de los grupos musculares para optimizar el rendimiento y reducir el riesgo de lesiones.

REFERENCIAS

- 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*(7), 705–729. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0813-1>
- Ardern, C. L., Pizzari, T., Wollin, M. R., & Webster, K. E. (2015). Hamstrings Strength Imbalance in Professional Football (Soccer) Players in Australia. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(4), 997–1002. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000747>
- Ayala, F., Sainz de Baranda, P., de Ste Croix, M., & Santonja, F. (2012). Validez y fiabilidad de los ratios de fuerza isocinética para la estimación de desequilibrios musculares. In *Apunts Medicina de l'Esport* (Vol. 47, Issue 176, pp. 131–142). <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2011.11.003>
- Ayala, F., Sainz de Baranda, P., De Ste Croix, M., & Sarobe, L. (2012). Fiabilidad absoluta de los índices convencional y funcional y momento máximo de fuerza isocinética de la flexión y extensión de rodilla. *Apunts Medicina de l'Esport*, *47*(174), 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2011.07.005>
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, *24*(7), 665–674. <https://doi.org/10.1080/02640410500482529>
- Barrué-Belou, S., Démaret, M.-A., Wurtz, A., Ducloux, A., Fourchet, F., & Bothorel, H. (2024). Absolute and Normalized Normative Torque Values of Knee Extensors and Flexors in Healthy Trained Subjects: Asymmetry Questions the Classical Use of Uninjured Limb as

Reference. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 6(1), 100861.

<https://doi.org/10.1016/j.asmr.2023.100861>

Colyer, S. L., & Mcguigan, P. M. (2018a). Electrodes Embedded in Clothing: A Practical Alternative to Traditional Surface Electromyography when Assessing Muscle Excitation during Functional Movements. In ©*Journal of Sports Science and Medicine* (Vol. 17).

Colyer, S. L., & Mcguigan, P. M. (2018b). Electrodes Embedded in Clothing: A Practical Alternative to Traditional Surface Electromyography when Assessing Muscle Excitation during Functional Movements. In ©*Journal of Sports Science and Medicine* (Vol. 17).

Coombs, R., & Garbutt, G. (2002). Review article DEVELOPMENTS IN THE USE OF THE HAMSTRING/ QUADRICEPS RATIO FOR THE ASSESSMENT OF MUSCLE BALANCE. In © *Journal of Sports Science and Medicine* (Vol. 1).

Croisier, J.-L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., & Ferret, J.-M. (2008). Strength Imbalances and Prevention of Hamstring Injury in Professional Soccer Players. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(8), 1469–1475. <https://doi.org/10.1177/0363546508316764>

Croisier, J.-L., né dicte Forthomme, B., lè ne Namurois, M.-H., Vanderthommen, M., & Crielaard, J.-M. (2002). *Hamstring Muscle Strain Recurrence and Strength Performance Disorders*.

Diker, G., Struzik, A., Ön, S., & Zileli, R. (2022). The Relationship between the Hamstring-to-Quadriceps Ratio and Jumping and Sprinting Abilities of Young Male Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12).

<https://doi.org/10.3390/ijerph19127471>

Drouin, J. M., Valovich-McLeod, T. C., Shultz, S. J., Gansneder, B. M., & Perrin, D. H. (2004). Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque

and position measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 91(1), 22–29.

<https://doi.org/10.1007/s00421-003-0933-0>

Gioftsidou, A., Beneka, A., Malliou, P., Pafis, G., & Godolias, G. (2006). Soccer Players' Muscular Imbalances: Restoration with an Isokinetic Strength Training Program. *Perceptual and Motor Skills*, 103(1), 151–159. <https://doi.org/10.2466/pms.103.1.151-159>

Hammami, N., Coroian, F. O., Julia, M., Amri, M., Mottet, D., Hérisson, C., & Laffont, I. (2012). Isokinetic muscle strengthening after acquired cerebral damage: A literature review. In *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* (Vol. 55, Issue 4, pp. 279–291).

<https://doi.org/10.1016/j.rehab.2012.03.003>

Hart, N. H., Nimphius, S., Weber, J., Spiteri, T., Rantalainen, T., Dobbin, M., & Newton, R. U. (2016). Musculoskeletal Asymmetry in Football Athletes: A Product of Limb Function over Time. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(7), 1379–1387.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000897>

Haugen, T. A., Tønnessen, E., Hisdal, J., & Seiler, S. (2014). The Role and Development of Sprinting Speed in Soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 432–441. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0121>

Huesa Jiménez, F., García Díaz, J., & Vargas Montes, J. (2005). Dinamometría isocinética. *Rehabilitación*, 39(6), 288–296.

Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Maffiuletti, N., & Marcora, S. M. (2007). A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(11), 2044–2050. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31814fb55c>

Ishøi, L., Krommes, K., Nielsen, M. F., Thornton, K. B., Hölmich, P., Aagaard, P., Penalver, J. J., & Thorborg, K. (2021). Hamstring and Quadriceps Muscle Strength in Youth to Senior

- Elite Soccer: A Cross-Sectional Study Including 125 Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(10), 1538–1544.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0713>
- Ito, M., Kawakami, Y., Ichinose, Y., Fukashiro, S., & Fukunaga, T. (1998). Nonisometric behavior of fascicles during isometric contractions of a human muscle. *Journal of Applied Physiology*, 85(4), 1230–1235. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.4.1230>
- Jee, Y.-S. (2015). Usefulness of measuring isokinetic torque and balance ability for exercise rehabilitation. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 11(2), 65–66.
<https://doi.org/10.12965/jer.150197>
- Komi, P. V., Viitasalo, J. T., Rauramaa, R., & Vihko, V. (1978). Effect of isometric strength training on mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 40(1), 45–55.
<https://doi.org/10.1007/BF00420988>
- Kroemer, K. H. E. (1999). Assessment of human muscle strength for engineering purposes: A review of the basics. *Ergonomics*, 42(1), 74–93. <https://doi.org/10.1080/001401399185810>
- Lehance, C., Binet, J., Bury, T., & Croisier, J. L. (2009). Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 19(2), 243–251. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00780.x>
- Mendoza, M., & Miller, R. G. (2014). Muscle Strength, Assessment of. In *Encyclopedia of the Neurological Sciences* (pp. 190–193). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385157-4.00670-9>

- Menzel, H.-J., Chagas, M. H., Szmuchrowski, L. A., Araujo, S. R. S., de Andrade, A. G. P., & de Jesus-Moraleida, F. R. (2013). Analysis of Lower Limb Asymmetries by Isokinetic and Vertical Jump Tests in Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1370–1377. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318265a3c8>
- More, R. C., Karras, B. T., Neiman, R., Fritschy, D., Woo, S. L.-Y., & Daniel, D. M. (1993). Hamstrings—an anterior cruciate ligament protagonist. *The American Journal of Sports Medicine*, 21(2), 231–237. <https://doi.org/10.1177/036354659302100212>
- Pietraszewski, P., Gołaś, A., Matusiński, A., Mrzygłód, S., Mostowik, A., & Maszczyk, A. (2020). Muscle Activity Asymmetry of the Lower Limbs during Sprinting in Elite Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 75(1), 239–245. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0049>
- Rochcongar, P. (2004). Évaluation isocinétique des extenseurs et fléchisseurs du genou en médecine du sport: Revue de la littérature. *Annales de Readaptation et de Medecine Physique*, 47(6), 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2004.05.013>
- Šarabon, N., Kozinc, Ž., & Perman, M. (2021). Establishing Reference Values for Isometric Knee Extension and Flexion Strength. In *Frontiers in Physiology* (Vol. 12). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.767941>
- Śliwowski, R., Paillard, T., Bojkowski, Ł., Dudziński, W., Patek, M., & Marynowicz, J. (2024). Intra- and inter-limb strength imbalance and asymmetry in soccer: A comparison of elite senior and junior players. *PLoS ONE*, 19(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302474>
- Small, K., McNaughton, L., Greig, M., & Lovell, R. (2010). The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.08.005>

Zakas, A. (2006). Bilateral isokinetic peak torque of quadriceps and hamstring muscles in professional soccer players with dominance on one or both two sides. *J Sports Med Phys Fitness*, 46(1), 28–35.

Zebis, M. K., Andersen, L. L., Ellingsgaard, H., & Aagaard, P. (2011). Rapid Hamstring/Quadriceps Force Capacity in Male vs. Female Elite Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1989–1993.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e501a6>