

**TESINA**

**Presentada para acceder al título de grado de la carrera de**

**LICENCIATURA EN ACTIVIDAD FÍSICA**  
**Ciclo de Complementación Curricular**

**Título:**

**“Efectos del trabajo de fuerza isométrica en el fútbol profesional: Una  
revisión bibliográfica”**

**Autor:**

**Pobersnik, Matías Nicolás**

**DNI: 40.136.437**

**Lugar:**

**Rosario**

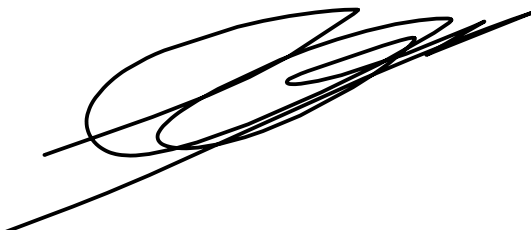
**Director:**

**Lic. Pavón, Isaías Exequiel**

**Fecha de Presentación:**

**02/02/2024**

**Firma del Autor**



## RESUMEN:

**Introducción:** El entrenamiento de la fuerza isométrica ha demostrado tener mejoras en aspectos relacionados con el rendimiento deportivo, como la aceleración, la velocidad, los cambios de dirección, el stiffness musculotendinoso, la tasa de desarrollo de la fuerza, el alivio de dolores tendinosos y la reducción del índice lesional. Su uso ha demostrado inducir menos fatiga y ser más eficiente en ángulos específicos que el entrenamiento dinámico.

Su empleo podría ser incluido en planes de entrenamiento de futbolistas profesionales para evitar sobrecargas y lesiones durante la temporada, manteniendo o mejorando niveles de forma.

**Objetivo general:** Analizar, mediante revisión bibliográfica, los efectos del entrenamiento isométrico en futbolistas profesionales durante la temporada. **Objetivo secundario:** Identificar tipos de ejercicios isométricos y su aplicación en una semana de trabajo.

**Materiales y métodos:** Para alcanzar los objetivos propuestos se llevará a cabo un trabajo de investigación consistente en una revisión bibliográfica. Se llevará a cabo una búsqueda, recolección y análisis de artículos científicos en las bases de datos de Google académico, Pubmed y en motores de búsqueda (Google, Microsoft Bing). Fueron tenidos en cuenta aquellos artículos comprendidos entre el año 2002 y 2023, realizados en inglés y español.

**Resultados:** A partir de la búsqueda bibliográfica se recolectaron 37 artículos, de los cuales 19 fueron revisiones bibliográficas y los restantes 18, ensayos clínicos.

**Conclusión:** El entrenamiento de la fuerza isométrica en el fútbol es una herramienta válida para la mejora de características necesarias para el rendimiento de elite del fútbol como la aceleración, la velocidad, los cambios de dirección, el stiffness del aparato musculotendinoso, la tasa de producción de fuerza y la reducción de lesiones, con menor fatiga que el entrenamiento de fuerza dinámico.

Palabras clave: “Entrenamiento isométrico” – “Fútbol profesional” – “Fuerza isométrica” – “Deportes de equipo” – “Lesiones”.

## ÍNDICE:

I. INTRODUCCIÓN:.....	1
II. OBJETIVO: .....	1
III. OBJETIVOS SECUNDARIOS: .....	2
IV. JUSTIFICACIÓN:.....	2
V. MATERIAL Y MÉTODOS: .....	2
VI. RESULTADOS DE BÚSQUEDA.....	4
VII. RESULTADOS .....	5
VII. a) Lesiones .....	5
VII. b) Contracciones isométricas .....	6
VII. c) Volumen e intensidad.....	9
VII. d) Influencia según ángulo de miembro.....	10
VII. e) Rehabilitación y dolor muscular.....	11
VII. f) Stiffness .....	12
VII. g) Tasa de desarrollo de la fuerza .....	14
VIII. DISCUSIÓN.....	16
IX. CONCLUSIÓN.....	17
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

## **I. INTRODUCCIÓN:**

Una plantilla de un equipo del fútbol profesional tiene alrededor de 25 jugadores, y usualmente sufre alrededor de 50 lesiones por temporada, un aproximado de 2 lesiones por jugador. La disponibilidad de los jugadores para los partidos tiene una estrecha relación con el éxito de los equipos en sus respectivas competencias, además del costo que este les representa de manera económica (cuidados, pérdida de partidos, premios, pago de contrato) (1).

A los preparadores físicos en el fútbol se les pide mejorar la performance física y minimizar el riesgo de lesión de los jugadores con los que trabaja (2). Dentro de los pilares para lograr este objetivo se encuentra el entrenamiento de fuerza realizado en el gimnasio. Está demostrado que los jugadores más fuertes tienden a ser mejores en las acciones de alta intensidad propias del deporte (aceleraciones, desaceleraciones, cambios de dirección, velocidad máxima y la capacidad de resistir esfuerzos de alta intensidad) y a tener un menor índice lesional (3,4).

El entrenamiento de fuerza isométrico involucra la contracción del músculo sin ningún movimiento externo o dinámico. Ha sido demostrado como un tipo de entrenamiento que induce menos fatiga que el entrenamiento dinámico, y beneficioso en varios deportes de conjunto, entre ellos el fútbol, debido a su similitud en el reclutamiento de motoneuronas y aplicación de fuerza en demandas de alta intensidad propias del deporte. Además, su uso ha resultado beneficioso para los tratamientos post-lesión, y ha sido correlacionado con mejoras de las estructuras a nivel tendinoso (3,5).

Preparar al jugador para los escenarios más exigentes de la competencia y mantener bajo el índice lesivo es uno de los grandes objetivos del preparador físico en el fútbol, y aquí se analizarán los efectos del entrenamiento de fuerza isométrico, y sus posibles beneficios o no para el logro de este propósito.

## **II. OBJETIVO:**

Analizar, mediante revisión bibliográfica, los efectos del entrenamiento isométrico en futbolistas profesionales durante la temporada.

### **III. OBJETIVOS SECUNDARIOS:**

-Identificar tipos de ejercicios isométricos y su aplicación en una semana de trabajo.

### **IV. JUSTIFICACIÓN:**

Esta investigación se realizará con el fin de recopilar la mayor cantidad de información acerca del entrenamiento isométrico, para favorecer a la dosificación y utilización de ejercicios isométricos en el entrenamiento de la fuerza, herramienta que se supone ayudará a mejorar los niveles de fuerza y acciones de alta intensidad propias del fútbol, además de reducir el riesgo lesional, sin inducir grandes niveles de fatiga. La información resultante de esta investigación podría llegar a beneficiar no solo a los preparadores físicos de futbolistas profesionales, sino también a los del fútbol juvenil y fútbol amateur.

### **V. MATERIAL Y MÉTODOS:**

Para alcanzar los objetivos propuestos se llevará a cabo un trabajo de investigación consistente en una revisión bibliográfica.

Se llevará a cabo una búsqueda, recolección y análisis de artículos científicos en las bases de datos de Google académico, Pubmed y en motores de búsqueda (Google, Microsoft Bing), a partir de los siguientes términos clave tanto en idioma español como en inglés.

Palabras clave:

Español: “Entrenamiento isométrico” – “Fútbol profesional” – “Fuerza isométrica” – “Deportes de equipo” – “Lesiones”

Inglés: “Isometric Training” – “Isometric Force” – “Team Sport”

Palabra clave	Término MeSH	Término DeCS	Término libre
Entrenamiento isométrico	Isometric training	Ejercicio isométrico	
Fútbol profesional	Elite soccer	Fútbol	Professional soccer
Fuerza isométrica	Isometric force	Isometric contraction	
Deportes de equipo	Team sport	Deportes de equipo	
Lesiones	Injuries	Wounds and injuries	

Combinación de términos:

Google académico:

- (“Fútbol profesional” AND “Entrenamiento isométrico” OR “Fuerza isométrica”)
- (“Lesiones” AND “Fútbol profesional” AND “Entrenamiento isométrico” OR “Fuerza isométrica”)

Pubmed:

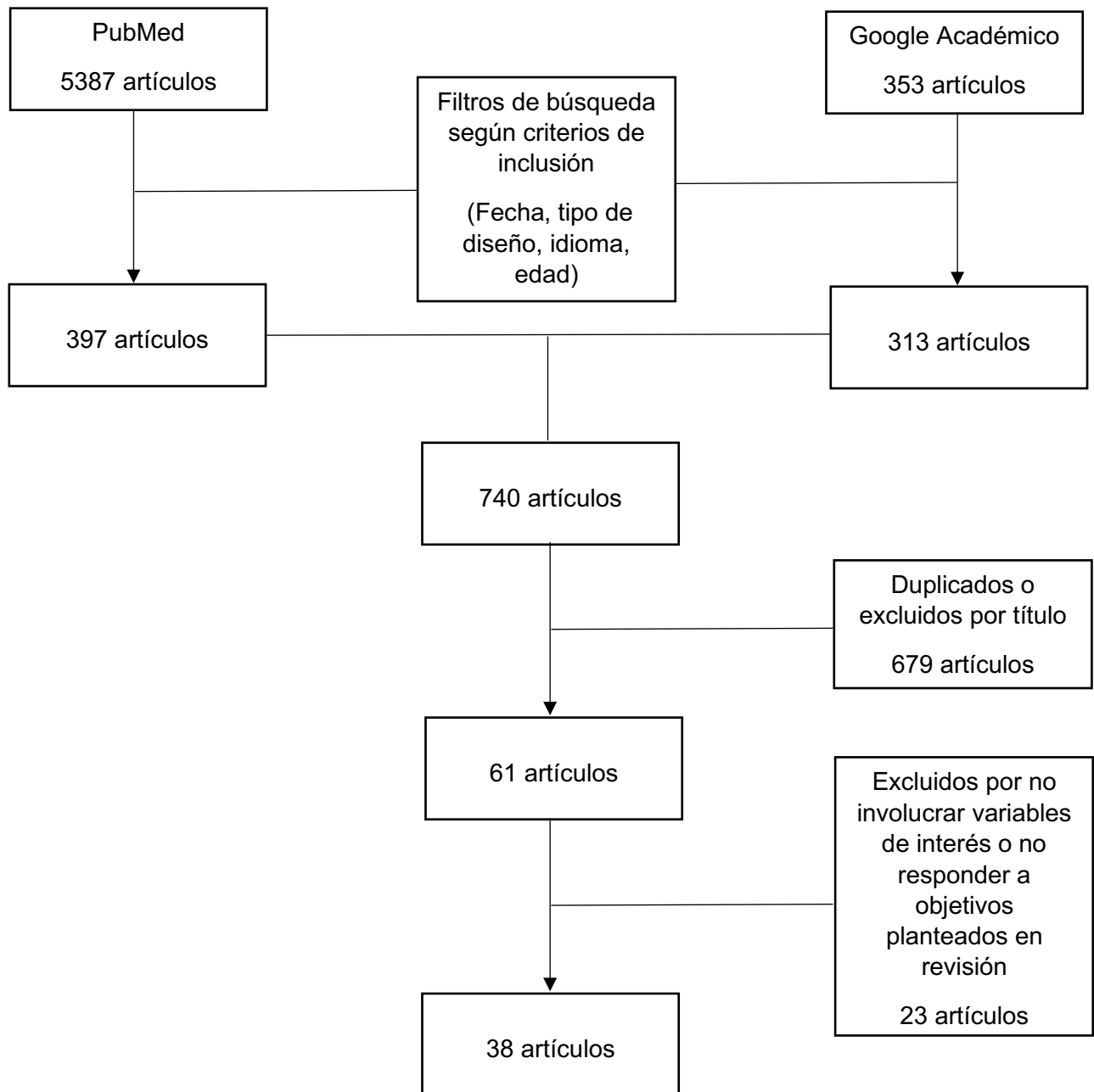
- (“Isometric training” OR “Isometric force” AND “Elite soccer” OR “Team sport”)
- (“Injuries” AND “Team Sport” AND “Isometric force” OR “Isometric training”)

CRITERIOS DE INCLUSIÓN:

- Tipos de diseño: Revisiones bibliográficas, ensayos clínicos, estudio de caso.
- Fecha de publicación: 2002 a 2023.
- Idioma: español, inglés.

## VI. RESULTADOS DE BÚSQUEDA

Los resultados de la búsqueda realizada arrojaron 740 resultados, de los cuales 679 fueron excluidos en primera instancia por título o estar duplicados. En segunda instancia, 24 artículos fueron excluidos por no involucrar variables de interés o no responder a objetivos planteados en la revisión. Como resultado, 37 artículos fueron utilizados para la recolección y análisis de datos.



## VII. RESULTADOS

### VII. a) Lesiones

El centro de investigación y evaluación médica de la Federación internacional de Fútbol Asociación define a las lesiones como "Cualquier dolencia física sufrida por un jugador que resulta de un partido de fútbol o fútbol formación, independientemente de la necesidad de asistencia médica, atención o pérdida de tiempo en actividades futbolísticas.

Una lesión que obliga a un jugador a recibir atención médica se denomina lesión de "atención médica", y una lesión que impide a un jugador participar plenamente en futuros entrenamientos o partidos de fútbol se denomina lesión con "tiempo perdido" (22).

Las lesiones en el fútbol profesional están asociadas a la edad del jugador, el nivel al que juega, y sus entrenamientos. Un jugador de fútbol de elite que este frecuentemente lesionado probablemente tenga dificultades para alcanzar su máximo nivel de habilidad por la falta de entrenamientos y competencia.

Pfirrmann (23) realizo un análisis sistemático de las incidencias lesionales en el fútbol juvenil y profesional de elite. En este último, observo que el índice lesional durante los entrenamientos era de 1,37 a 5,8 lesiones cada 1000 horas de entrenamiento. Por otro lado, durante la competencia el índice lesional aumentaba de 8,7 a 65,9 cada 1000 horas de exposición. Según el autor, los partidos crean un mayor potencial lesional que los entrenamientos en los jugadores de fútbol adultos profesionales. A su vez, el autor también afirma que las lesiones en partido demandaron más tiempo de recuperación que las sucedidas durante los entrenamientos.

Las lesiones donde ocurre un estiramiento o un desgarro del tendón o el músculo fueron las lesiones más recurrentes, seguidas por el estiramiento o desgarro del ligamento y luego las contusiones. La zona más afectada fue el muslo, siendo el isquiotibial el lugar más recurrente y el cuádriceps el lugar donde demandaba más tiempo de recuperación (24, 25, 26).

Otras zonas frecuentemente afectadas fueron la ingle, la rodilla y el tobillo. Las fracturas solo representaron un porcentaje pequeño de la cantidad de lesiones, clasificadas como lesiones mayores.



Las lesiones por sobreuso son causadas por un stress repetitivo sin el suficiente tiempo para poder regenerarse. Este tipo de lesiones representaron entre el 27% y el 33% del total de lesiones (23). Hoff (18) afirma que en este tipo de lesiones la adaptación a las fuerzas externas juega un rol importante. En su análisis, el autor observó que estudios biomecánicos mostraron conexión entre déficits en la fuerza excéntrica y lesiones en el fútbol.

Lesiones previas y rehabilitaciones inadecuadas son comúnmente sugeridas como factores de riesgo lesionales para los jugadores de fútbol. Jugadores con lesiones previas tienen de 4 a 7 veces mayor riesgo lesional para una lesión subsecuente. La recurrencia en las lesiones se encontró en un rango del 9% al 30% de los jugadores de fútbol profesionales y causaron ausencias mayores que las lesiones anteriores (23,27).

## **VII. b) Contracciones isométricas**

Las contracciones isométricas son aquellas en las que no se distingue de manera externa el movimiento de la articulación y donde la longitud del músculo permanece estable. Independientemente de esto, el proceso de contracción muscular permanece igual que en una contracción concéntrica o excéntrica, en la cual un impulso nervioso llega a las fibras del músculo produciendo un deslizamiento de los filamentos de miosina y actina hasta llegar a la fatiga y a la relajación del músculo (6,10,15).

Dos grandes grupos de entrenamiento de la fuerza isométrica pueden ser diferenciados. El entrenamiento donde un sujeto debe resistir la aplicación de una fuerza externa, aplicando la misma fuerza que se le está aplicando (Si la fuerza externa sería mayor, la contracción pasaría de isométrica a excéntrica) donde se utiliza un tipo de contracción llamada HIMA por sus siglas en inglés (Holding isometric muscle action) o "Yielding".



Fig. (VII) 1: Contracción del tipo “Yielding” o HIMA (11).

Dentro de este grupo también distinguimos las “Quasi-isométricas”, en este tipo de contracción se mantiene una posición hasta que la contracción isométrica falla y se resiste la subsecuente fase excéntrica.



Fig (VII) 2: Fase inicial del “Quasi-isométrico” y su posición final luego de una contracción excéntrica máxima en un empuje a una pierna (10).

Por otro lado, las PIMA (Pushing – Pulling isometric muscle action) o “Overcoming”, describen el tipo de acción isométrica donde el sujeto empuja o tira de un objeto inamovible. Si bien en ambos casos la longitud del músculo es mantenida, en el caso de las HIMA se evita un alargamiento muscular, mientras que en las PIMA se intenta realizar un acortamiento muscular (6,7,8,9,15).



Fig (VII) 3: Contracción del tipo “Overcoming” o PIMA (11).

Otra diferencia entre ambos tipos de contracción es la capacidad de mantener el esfuerzo. Schaerer (15) realizó un estudio en el que, mientras uno de los participantes empujaba isométricamente (PIMA) intentando realizar una extensión de codo, el otro participante resistía la aplicación de esa fuerza (HIMA) evitando la flexión. Si el sujeto que realizaba abandonaba la tarea acompañada de una baja en la fuerza, se catalogaba la prueba como “Fallo PIMA”. En cambio, si el sujeto que resistía la fuerza, dejaba la contracción isométrica o abandonaba la prueba, se catalogaba como “Fallo HIMA”. En 34 de las 40 pruebas realizadas, el resultado fue “Fallo HIMA”.

Una superior demanda de sustratos energéticos, una mayor cantidad de producción de lactato, el comportamiento de los capilares, son algunas de las razones que se estudian para justificar la menor resistencia de las contracciones HIMA (16,17).

Sin embargo, distintos artículos científicos (8,15) sostienen que la razón principal de agotamiento tiene que ver con una mayor demanda del sistema nervioso central en comparación a las contracciones PIMA. En este tipo de contracciones, el sistema nervioso central debe adaptarse isométricamente al aumento de una fuerza externa.

Hoff (18) define el término “Fuerza adaptativa” como la habilidad del sistema neuromuscular para adaptarse a las fuerzas externas durante contracciones isométricas y excéntricas. El rendimiento del sistema sensorio motor se somete a una mayor demanda si las fuerzas externas varían. Al igual que en los quasi-isométricos, rangos supra máximos de este tipo de contracciones dan como resultado el ejercicio excéntrico con la ejecución más lenta posible. El autor considera que posiblemente el sistema neuromuscular debe regular la fuerza que realiza y la longitud del músculo, y es en esta dificultad que descansa el mayor agotamiento.

## VII. c) Volumen e intensidad

La intensidad y la duración de una contracción PIMA o Overcoming va a determinar si el objetivo principal de la mejora es la fuerza absoluta o la fuerza rápida.

Verkhoshansky (6) y Bove (10) afirman que para lograr mejoras en la fuerza absoluta la contracción del tipo PIMA o Overcoming debe crecer lentamente hasta la máxima contracción en los primeros 3", y a partir de ahí sostenerla durante hasta un máximo de 10" en las que se busca lograr sostener altos niveles de tensión en el músculo y una gran adaptación del sistema neuromuscular. Mantener durante un tiempo mayor la contracción provocará descensos en la producción de fuerza y altos niveles de fatiga.

Por otro lado, si el objetivo de mejora es la fuerza rápida, la intención es realizar la mayor fuerza posible en un período más corto de tiempo, los primeros 3".

Ambas variaciones de entrenamiento buscando llegar a la máxima intensidad de contracción en pequeños períodos de tiempo, parecen ser el método más eficiente de ganancia de fuerza debido al máximo reclutamiento de unidades motoras en un menor volumen de tiempo, en comparación a métodos de entrenamiento submáximo que favorecen la resistencia muscular (3).

En cuanto a él volumen de series de trabajo, Lum y Barbosa (3) realizaron una revisión de entrenamientos de la fuerza isométrica, en el cual concluyeron que si el entrenamiento de fuerza isométrica es realizado a un 70%-75% de una máxima contracción voluntaria sosteniendo la contracción durante 3"-30" por repetición, con 80"-150" de trabajo total por sesión, por más de 36 sesiones, es recomendable para inducir la hipertrofia.

Por otro lado, realizar el mismo entrenamiento de fuerza isométrico a un 80%-100% de una máxima contracción voluntaria entre 1"-5" por repetición, con 30"-90" por sesión, es recomendable para la ganancia de fuerza máxima. Por último, el entrenamiento de fuerza isométrica realizado con una contracción balística cercana a la máxima intensidad es lo recomendable para aumentar la fuerza explosiva.

Kanehisa (34) empleo 3 sesiones de entrenamiento isométrico del tipo PUSH durante 10 semanas para la extensión del hombro, igualando el volumen de entrenamiento teniendo en cuenta el porcentaje de la máxima contracción voluntaria del 100% vs 60%. La duración del desarrollo de la fuerza por serie fue de 6 segundos vs 30 segundos respectivamente y los números de series por sesión, 12 para el primer caso y 4 para el segundo. Si bien el entrenamiento de alta intensidad tuvo mayores efectos en el crecimiento del volumen

muscular con respecto al de menor intensidad 12,4% vs 5,3%, la diferencia no fue significativa.

Oranchuk (7) analizó el efecto de un programa de entrenamiento isométrico, comparando un volumen bajo de entrenamiento de 3 series de 6 segundos de una máxima contracción voluntaria, contra un entrenamiento de 20 series de 6 segundos de una máxima contracción voluntaria para los flexores de codo. Luego de 6 semanas de intervención, los resultados obtenidos en el entrenamiento de mayor volumen mostraron resultados más altos en los niveles de hipertrofia.

El autor concluye que, si el volumen es igualado y la intensidad de la contracción es mayor al 20% de una contracción voluntaria máxima, las adaptaciones en la hipertrofia son similares.

Ha sido demostrado que períodos de entre 42 a 100 días de entrenamiento de la fuerza isométrica resultaron en aumentos de la fuerza máxima hasta en un 91%, y en un aumento de la sección transversal del músculo del 5,4% al 23%, teniendo en cuenta que esta disparidad tiene que ver con la duración del período de intervención, mientras más largo, mayor crecimiento muscular (3).

Cuando se utiliza el tipo de contracciones HIMA para lograr hipertrofia muscular, se recomienda la aplicación de intensidades del 30% al 80% de 1RM, ya que dentro de ese rango ocurren los factores metabólicos necesarios para el crecimiento de la fibra muscular, entre ellos la oclusión sanguínea, la hipoxia aguda y el estrés metabólico (9).

## **VII. d) Influencia según ángulo de miembro**

La producción de fuerza no solo mejora en el ángulo donde se realiza el entrenamiento de fuerza isométrica, sino también en sus ángulos aledaños, de 20° a 50° alrededor (3).

Realizar este tipo de entrenamiento en ángulos que favorezcan el estiramiento del músculo por sobre su acortamiento, permiten que los ángulos aledaños de mejora se amplíen. Kubo (11) realizó un estudio donde comparo los efectos del entrenamiento isométrico para los extensores de la rodilla en dos ángulos, 80° vs 130°, 4 veces por semana, durante 12 semanas, al 70% de una contracción máxima voluntaria. En el primer caso, se incrementó la producción de fuerza en ángulos de la rodilla desde los 60° hasta los 140°, mientras que, en el segundo caso, el aumento fue desde los 100° hasta los 140°.

En una revisión realizada por Oranchuk (7), el autor analizó el entrenamiento de la extensión de rodilla entrenando en ángulos acortados (30°), ángulos medios (60°) y ángulos amplios

(90°) con contracciones isométricas voluntarias máximas, 4 veces por semana, durante 8 semanas. Los autores encontraron mejoras significativas en la producción de fuerza en 7 ángulos aledaños, mientras que el ejercicio en ángulos medios y acortados lo hicieron en 5 y 4 respectivamente.

Bodganis (31) estudió la flexión de rodilla con contracciones voluntarias máximas en dos ángulos, 35° vs 95°, 3 veces por semana, durante 6 semanas. El autor encontró mejoras en los 6 ángulos aledaños analizados en el entrenamiento a 95° (18° - 98°), mientras que en el ángulo acortado solo en 2 (18° - 34°).

Estos resultados se corresponden con la comparación realizada por Lum (3), en la cual el autor comparó estudios en los que se realizaron contracciones isométricas máximas en múltiples ángulos, contra otros donde se realizó la misma contracción en un solo ángulo articular, concluyendo que entrenar la fuerza isométrica en múltiples ángulos articulares parece tener resultados superiores en la performance dinámica y funcional, en comparación a entrenar en un solo ángulo articular.

Entrenar en ángulos que favorezcan el estiramiento de la zona muscular trabajada no solo favorece un incremento de fuerza mayor en ángulos aledaños, sino que parece ser superior para hipertrofiar las fibras musculares en comparación a un trabajo con el músculo acortado, en parte debido a que este tipo de contracciones resultaron ser mejores en la restricción del flujo sanguíneo, en los rangos de consumo de oxígeno, y en el anabolismo, todos mecanismos necesarios para el proceso de hipertrofia (7,9).

## **VII. e) Rehabilitación y dolor muscular**

El entrenamiento de fuerza isométrico y quasi-isométrico suele ubicarse en las etapas iniciales de recuperación de las lesiones, ya que permiten controlar el empleo de fuerza realizada en el ángulo de aplicación de la articulación deseado.

Cuando el deportista tiene una lesión de tipo ósea o ligamentaria grave que conlleva grandes períodos de inmovilización y atrofia de los tejidos, los quasi-isométricos parecen ofrecer mejoras significativas en la estructura del tendón, la capacidad de trabajo del mismo, mejoras de la estructura muscular y la función neuromuscular mientras los fascículos vuelven a su tamaño normal (7,9).

La tensión excéntrica está asociada al desarrollo de lesiones musculares y tendinosas. Estudios han demostrado conexiones entre déficits en la fuerza excéntrica y lesiones

deportivas (19,20). El mecanismo lesional se define desde las fuerzas que impactan desde el exterior, que se encuentran con un músculo previamente tensado (18).

Según Hoff (18) las contracciones excéntricas involucran estrategias únicas del sistema nervioso central, que pueden activarse durante la fuerza adaptativa, en el transcurso de la contracción excéntrica o quasi isométrico y durante la fase isométrica realizada durante las HIMA, por lo que es posible que una buena adaptación al incrementar las fuerzas durante los ejercicios de fuerza adaptativa, mejore la capacidad de estrategias de control durante las acciones excéntricas.

Distintos estudios parecen demostrar que el entrenamiento de fuerza isométrico suministra mayores efectos analgésicos comparado a ejercicios dinámicos, cuando se busca aliviar zonas de dolor previas a un entrenamiento o partido. Contracciones isométricas submáximas sostenidas del tipo “Yielding” parecen reducir los dolores de tendón y permitir periodos de entrenamiento dinámico sin dolor (7,8,9,15).

Por ejemplo, Rio (13) examinó el dolor patelar durante una sentadilla declinada en jugadores de vóley masculinos con tendinitis. Evaluó el dolor luego de implementar dos protocolos, uno donde los jugadores realizaban extensiones de rodilla isotónicas por 4 sets con una carga de 8RM y otro luego de realizar 5 sets de 45 segundos de extensiones de rodilla con contracciones isométricas. Si bien ambos protocolos disminuyeron el dolor, solo el protocolo isométrico logró disminuir el dolor significativamente durante 45 minutos. Oranchuk (9) analizó las fases isométricas y de alargamiento de los quasi-isométricos y según el mismo, este tipo de contracciones pueden proveer un efecto analgésico mientras se estimula la reformación del tejido conectivo.

## **VII. f) Stiffness**

La rigidez o “stiffness” en inglés, es la característica biomecánica que permite al cuerpo humano en la interacción del músculo, tendón, ligamento, cartílago y hueso resistir el estiramiento cuando hay fuerzas que intentan deformarlo. Este tipo de propiedad es útil en la producción de fuerza, ya que los componentes elásticos de los tejidos actúan como resortes, almacenando y reusando la energía elástica (14,29).

Ha sido probado, que una cantidad adecuada de rigidez muscular en los miembros inferiores tiene correlaciones positivas con el salto y la velocidad de carrera, además de ser un elemento preventivo de lesiones músculo-tendinosas (14,29). Según Brazier (14) un

adecuado nivel de rigidez es necesario para absorber las fuerzas de reacción del suelo para un rendimiento óptimo al correr y saltar tanto en vectores horizontales y verticales.

Una revisión realizada por McMahon (30) encontró que a mayores niveles de stiffness se reducían los tiempos de contacto al correr y realizar saltos, y, por tanto, se aumentaban los contactos en un mismo espacio de tiempo.

Para desarrollar la fuerza, un músculo deberá transmitir su fuerza a través del tendón. Un tendón menos rígido, dará como resultado un mayor tiempo para transmitir esa fuerza (12). Si bien la rigidez de los miembros inferiores se ha mostrado importante para un óptimo desarrollo de la performance atlética (12,29), evidencia como la recolectada por Butler (29) sugiere que demasiada rigidez muscular puede resultar en un mayor riesgo lesional, debido a un acortamiento en el rango de movimiento de la articulación que conlleva un incremento en pico de fuerza en la extremidad inferior aumentando los riesgos de fracturas por estrés. Por otro lado, el autor refiere que un nivel de rigidez muy bajo este asociado con una excesiva movilidad de la articulación, que se deforma ante las fuerzas del suelo y no permite utilizar su energía de manera eficiente y con la posibilidad de generar lesiones en el tejido blando.

Si bien autores como Burgess (12) han encontrado mejoras en el stiffness de tendón, como así también aumentos en la tasa de desarrollo de fuerza e incrementos en la altura del salto concéntrico a partir del entrenamiento isométrico, autores como Kubo (21) sugieren que para obtener mejoras en el ciclo estiramiento-acortamiento se requiere del entrenamiento pliométrico, ya que solo ha encontrado mejoras significativas en el stiffness muscular en este ciclo con el entrenamiento de saltos.

Otros autores como Tillin (38) encontraron mejores en el stiffness muscular del cuádriceps luego de 4 semanas de contracciones isométricas balísticas de los extensores de la rodilla. Este tipo de entrenamiento parece ser más eficiente que el orientado a la fuerza máxima, ya que se han encontrado mejoras de manera anticipada, debido a que las contracciones explosivas proporcionan una mayor tasa de deformación mecánica que, correspondiente a las propiedades viscoelásticas de las unidades musculo-tendinosas, predispone al sistema muscular a una mayor tensión mecánica y energía de deformación para la misma tensión mecánica.

Por último, en uno de sus estudios, Oranchuk (9) sugiere que las mejoras del stiffness a partir del entrenamiento isométrico son mayores trabajándose en amplios rangos de movimiento en comparación con ángulos acortados.



## VII. g) Tasa de desarrollo de la fuerza

Un método estandarizado para medir la fuerza explosiva es el uso del parámetro “RFD” (Rate of force development) que evalúa la tasa de desarrollo de la fuerza contráctil durante una contracción isométrica (33). Aagaard (39) define al RFD como la pendiente de la curva fuerza-tiempo obtenida durante condiciones isométricas. Este tipo de evaluación ha sido utilizada para evaluar la capacidad de generar rápidamente fuerza muscular, que es esencial para los deportes de performance y tareas funcionales (36).

El entrenamiento de fuerza isométrico ha demostrado aumentar significativamente los niveles de la tasa de desarrollo de fuerza o RFD asociada con la performance dinámica (12).

La fuerza máxima de una contracción isométrica del tipo PUSH se alcanza alrededor de los 300ms según Andersen (33).

En un análisis realizado por Mason y Steele (34) los autores encontraron que las acciones típicas del fútbol tales como acelerar, correr, cambiar de dirección y saltar ocurren durante los primeros 0-250 ms. Esto se relaciona con lo dicho por Tillin (35), que menciona que el RFD es esencial en situaciones donde el tiempo para desarrollar la fuerza es importante, como la estabilización del cuerpo después de una pérdida de balance o durante actividades deportivas explosivas.

Según Andersen (33) el RFD en distintos intervalos de tiempo se ve afectado por diferentes parámetros fisiológicos. Mientras que la RFD grabado en la fase temprana se ve modificado por propiedades intrínsecas del músculo, como la proporción de fibras lentas y rápidas del mismo, las propiedades visco-elásticas del complejo músculo-tendinoso y el área de sección transversal del músculo, la RFD obtenida en las fases más tardías está estrechamente correlacionado a la máxima contracción voluntaria (35).

El autor realizó un estudio donde 15 sujetos sanos y sedentarios, realizaron un programa de entrenamiento de fuerza resistencia durante 14 semanas, con 38 sesiones en las cuales, durante las primeras 15 sesiones, la carga relativa del ejercicio fue de 10 a 12 repeticiones máximas (cuatro series), seguidas de cargas de 8 a 10 repeticiones máximas (cuatro series) durante las sesiones 16 a 25 y cargas más pesadas de 6 a 8 repeticiones máximas (cinco series) durante las sesiones 26 a 38. Como resultado, los sujetos mejoraron su RFD en las fases tardías 250-300ms, su máxima contracción voluntaria, mientras que el RFD relativo en la fase temprana decreció, en concordancia con la disminución de la proporción de fibras rápidas del tipo IIX, debido en parte a la transición de fibras del tipo IIX a IIA.

Este estudio se correlaciona con el realizado por Tillin (35) en el cual los sujetos mejoraron significativamente su máxima contracción voluntaria, pero no su fuerza en las primeras fases del RFD 0-150ms, luego 3 sesiones semanales, en 4 semanas de entrenamiento isométrico de los extensores de la rodilla, realizados al 75% de una contracción máxima y sostenido durante 3 segundos. Cuando la fuerza fue normalizada a la máxima contracción voluntaria, hubo un detrimento en el porcentaje de la máxima contracción voluntaria lograda en los 100ms y 150ms. Al igual que Andersen (33), el autor menciona como posible consecuencia la transición de fibras IIX a IIA.

Holtermann (37) analizó una investigación en la cual se comparaban los efectos del entrenamiento balístico de contracciones isométricas y contracciones concéntricas en condiciones idénticas.

Ambos tipos de entrenamiento mejoraron la capacidad de producción de fuerza por unidad de tiempo, con resultados similares entre el entrenamiento isométrico y concéntrico. Según el autor no es necesario realizar un movimiento rápido a través de un rango de movimiento, si no la intención con la cual se realiza, en este caso balístico, es la que lleva a tener mejoras en la velocidad de aplicación de fuerza. El investigador sostiene que el comando motor y las características del patrón de activación de las unidades motoras con la intención de movimientos de alta velocidad, y que la tasa de desarrollo de fuerza de la contracción muscular, sin importar si es de tipo concéntrica o isométrica es la que lleva a obtener adaptaciones específicas de potencia. Según Tillin (35), las ganancias obtenidas en las fases tempranas del RFD están atribuidas a adaptaciones neurales.

Lo observado se correlaciona con lo investigado por Andersen (33), en el cual 18 sujetos se sometieron a 6 semanas de entrenamiento isométrico, 3 veces por semana, para los extensores de la rodilla. Cada sujeto fue indicado para realizar el esfuerzo en forma balística.

Andersen confirmó que el entrenamiento de fuerza isométrico balístico mejoró el RFD en las fases tempranas, con las mejoras más significativas de 0-20ms.

Otro estudio del mismo tipo fue realizado por Tillin (38) en el que 10 sujetos sanos entrenaron los extensores de la rodilla con contracciones unilaterales isométricas explosivas con 1 segundo de duración, separadas por 5 segundos, 4 veces por semana durante 4 semanas. El autor encontró aumentos en la fuerza máxima voluntaria del 11%, incrementos del espesor muscular del 7%, como así también aumentos en la fuerza explosiva durante los 50ms, 100ms y 150ms. Según Tillin, el aumento en los 50ms se debe a una mejora en el impulso neuronal, mientras que en los 100ms y 150ms la mejora esta

correlacionada al aumento proporcional en la máxima contracción voluntaria y a la gran producción de fuerza sucedida en los primeros 50ms.

El autor menciona que parece ser que el entrenamiento con contracciones isométricas balísticas es más eficiente que el de contracciones isométricas buscando volumen de fuerza máxima, ya que provee un estímulo más efectivo para mejorar el RFD sin la fatiga relacionada al entrenamiento de fuerza máxima.

Balshaw (32) analizó el efecto de 40 repeticiones de extensión de rodilla, 3 veces por semana, durante 12 semanas de entrenamiento, comparando contracciones isométricas explosivas durante 1 segundo, lo más rápido y fuerte posible, contra contracciones isométricas sostenidas, que se incrementaban hasta un 75% de una contracción máxima y debían ser sostenidas durante 3 segundos. El autor concluyó que el entrenamiento con contracciones explosivas produjo adaptaciones funcionales de amplio alcance con aumentos de fuerza en las etapas tempranas y de fase tardía de la RFD, y de fuerza máxima debido a adaptaciones neuronales. La corta duración de carga de las contracciones explosivas hace de esta una modalidad de entrenamiento sustancialmente menos exigente y más eficiente que las contracciones isométricas sostenidas, aunque en contraste estas últimas han demostrado inducir mayor hipertrofia debido no a su intensidad, sino a su volumen.

## **VIII. DISCUSIÓN**

El presente estudio tuvo como propósito analizar, según la bibliografía publicada, los efectos del entrenamiento isométrico en el fútbol profesional.

Si bien es amplia la información encontrada acerca del entrenamiento isométrico en personas sanas y sedentarias (8,28,32,33,35,37,38), son pocos los estudios que hicieron foco específico en deportistas amateur y profesionales, en especial del fútbol profesional masculino y femenino (5,11,12,13,21).

A su vez, gran cantidad de estudios analizados (11,12,21,32,35,37,38) limitaban su entrenamiento a la contracción isométrica a analizar, y no se realizaba en combinación con otros entrenamientos de resistencia o trabajos en campo típicos de deportes como el fútbol. Se encontró una cantidad aceptable de estudios relacionados con el entrenamiento isométrico PIMA (5,11,12,28,32,33,35,37,38), no así con los HIMA (7,8,9,13,15) en las cuales su falta de investigación en trabajos de mediano y largo plazo, limita su conocimiento y aplicaciones prácticas a solo unas pocas teorías.

Si bien encontramos diferencias en cuanto a volúmenes de tiempo e intensidades, todos los autores parecen concluir que en las contracciones isométricas PIMA, máximas contracciones en periodos breves de tiempo mejoran la fuerza máxima, que máximas contracciones en espacios aún más cortos de tiempo mejoran la fuerza rápida o explosiva, y que contracciones submáximas en espacios más amplios de tiempo inducen a la hipertrofia (3,6,10).

Se encontraron disparidades con respecto a la definición de las fases del RFD. Tillin (35), Oliveira (36) y Balshaw (32) concuerdan que la fase temprana se define en el intervalo de 0ms a 100ms, mientras que la fase tardía se da a partir de los 100ms. Andersen (33) agrega una fase intermedia, ya que, si bien concuerda en que la fase temprana se encuentra dentro del intervalo de 0ms a 100ms, define a la fase tardía a partir de los 200ms, dejando un intervalo intermedio de 100ms a 200ms.

Aagaard (39) y Holtermann (37) coinciden en que la fase temprana corresponde al intervalo menor a los 200ms, y a la fase tardía, por encima del mismo número.

Si bien se hallaron discrepancias en la definición de las fases, los resultados de los estudios concuerdan en que entrenamiento del tipo PUSH con manifestaciones balísticas mejoraron la fuerza en el intervalo de 0ms a 200ms, mientras que contracciones isométricas submáximas sostenidas mejoraron la fuerza a partir de los 200ms, correlacionado con el aumento de la fuerza máxima y la mejora de la máxima contracción voluntaria.

Serán necesarios más estudios que comprueben la efectividad del entrenamiento isométrico de fuerza en el fútbol profesional masculino y femenino, utilizando contracciones del tipo PUSH y HIMA, en combinación con los entrenamientos dinámicos y las tareas específicas de campo.

## **IX. CONCLUSIÓN**

El entrenamiento de la fuerza isométrica en el fútbol es una herramienta válida para la mejora de características necesarias para el rendimiento de elite del fútbol como la aceleración, la velocidad, los cambios de dirección, el stiffness del aparato musculotendinoso, la tasa de producción de fuerza y la reducción de lesiones, con menor fatiga que el entrenamiento de fuerza dinámico.

Según la forma de contracción elegida, tanto PIMA o HIMA y el ajuste de variables de intensidad, volumen y el ángulo de la articulación, se pueden perseguir distintos objetivos principales, como la búsqueda del aumento de la fuerza explosiva, de la fuerza máxima,

hipertrofia muscular, aumento del área de sección muscular, stiffness, aumento de rangos de movimiento muscular y reducción del dolor tendinoso.

Las contracciones isométricas balísticas PIMA parecen mejorar la fuerza explosiva, mientras que, por otro lado, las contracciones isométricas submáximas parecen mejorar la fuerza máxima, y dependiendo de su volumen, se ven mejores en la hipertrofia muscular. Por otra parte, las contracciones HIMA y quasi isométricas parecen mejorar la fuerza y la hipertrofia muscular, el stiffness musculo-tendinoso, aumentar los rangos de movimiento, y tener el poder de reducir el dolor tendinoso.

A su vez, su utilización en distintas etapas de la temporada está determinado por las características del tipo de contracción. Las contracciones del tipo HIMA se recomiendan en pretemporadas o posttemporadas, en días de recuperación dentro de la temporada o para el tratamiento de lesiones. Por otro lado, las contracciones del tipo PIMA se recomiendan para utilizar durante la temporada en una semana de trabajo previa a un encuentro deportivo, ya que permiten complementarse con el alto nivel de fatiga que demanda la competencia, posibilitando tener mejoras neuromusculares o activaciones previas a un partido.

El entrenamiento de contracciones isométricas permite trabajar en ángulos específicos que pueden tener desventajas biomecánicas propias del deporte, como así también en las primeras fases de recuperación luego de una lesión del tipo muscular, tendinosa u ósea. Todos los autores concuerdan que se obtienen mayores mejoras de fuerza en zonas aledañas a la articulación trabajada, si se trabaja en amplios rangos de movimiento.

Se recomienda que el entrenamiento de fuerza isométrico no sea el único estímulo de entrenamiento de fuerza, si no que sea complementario al entrenamiento de fuerza dinámico, ya que el entrenamiento de fuerza isométrico no es beneficioso para las 3 fases del ciclo acortamiento-estiramiento, necesario para el fútbol en acciones como, por ejemplo, los saltos.

## **X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. López-Valenciano A, Ruiz-Pérez I, Garcia-Gómez A, Vera-Garcia FJ, De Ste Croix M, Myer GD, et al. Epidemiology of injuries in professional football: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* [Internet]. 2020;54(12):711–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2018-099577>

2. Walker GJ, Hawkins R. Structuring a program in elite Profesional soccer. *Strength Cond J* [Internet]. 2018;40(3):72–82. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1519/ssc.0000000000000345>
3. Lum D, Barbosa TM. Brief review: Effects of isometric strength training on strength and dynamic performance. *Int J Sports Med* [Internet]. 2019;40(6):363–75. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1055/a-0863-4539>
4. Dolci F, Hart NH, Kilding AE, Chivers P, Piggott B, Spiteri T. Physical and energetic demand of soccer: A brief review: A brief review. *Strength Cond J* [Internet]. 2020;42(3):70–7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/ssc.0000000000000533>
5. Bimson L, Langdown L, P. Fisher J, Steele J. Six weeks of knee extensor isometric training improves soccer related skills in female soccer players. *J Trainology* [Internet]. 2017;6(2):52–6. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.17338/trainology.6.2\\_52](http://dx.doi.org/10.17338/trainology.6.2_52)
6. Verkhoshansky YV, Siff MC. Supertraining. [Verkhoshansky.com](http://Verkhoshansky.com); 2009.
7. Oranchuk DJ, Storey AG, Nelson AR, Cronin JB. Isometric training and long-term adaptations: Effects of muscle length, intensity, and intent: A systematic review. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2019;29(4):484–503. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/sms.13375>
8. Schaefer LV, Bittmann FN. Are there two forms of isometric muscle action? Results of the experimental study support a distinction between a holding and a pushing isometric muscle function. *BMC Sports Sci Med Rehabil* [Internet]. 2017;9(1):11. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s13102-017-0075-z>
9. Oranchuk DJ, Storey AG, Nelson AR, Cronin JB. Scientific basis for eccentric quasi-isometric resistance training: A narrative review: A narrative review. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2019;33(10):2846–59. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.00000000000003291>

10. Bove Daniel. The quadrant system. Athlete Framework; 2022.
11. Kubo K, Ohgo K, Takeishi R, Yoshinaga K, Tsunoda N, Kanehisa H, et al. Effects of isometric training at different knee angles on the muscle-tendon complex in vivo. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2006;16(3):159–67. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00450.x>
12. Burgess KE, Connick MJ, Graham-Smith P, Pearson SJ. Plyometric vs. isometric training influences on tendon properties and muscle output. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2007;21(3):986–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/R-20235.1>
13. Rio E, van Ark M, Docking S, Moseley GL, Kidgell D, Gaida JE, et al. Isometric contractions are more analgesic than isotonic contractions for patellar tendon pain: An in-season randomized clinical trial. *Clin J Sport Med* [Internet]. 2017;27(3):253–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/jsm.0000000000000364>
14. Brazier J, Bishop C, Simons C, Antrobus M, Read PJ, Turner AN. Lower extremity stiffness: Effects on performance and injury and implications for training. *Strength Cond J* [Internet]. 2014;36(5):103–12. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/ssc.0000000000000094>
15. Schaefer LV, Bittmann FN. Two forms of isometric muscle function: Interpersonal motor task supports a distinction between a holding and a pushing isometric muscle action [Internet]. *bioRxiv*. 2020. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1101/2020.08.17.253633>
16. Rudroff T, Kalliokoski KK, Block DE, Gould JR, Klingensmith WC 3rd, Enoka RM. PET/CT imaging of age- and task-associated differences in muscle activity during fatiguing contractions. *J Appl Physiol* [Internet]. 2013;114(9):1211–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.01439.2012>

17. Dech S, Bittmann F, Schaefer L. Behavior of oxygen saturation and blood filling in the venous capillary system of the biceps brachii muscle during a fatiguing isometric action. *Eur J Transl Myol* [Internet]. 2020;30(1):8800. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4081/ejtm.2019.8800>
18. Hoff M, Schaefer L, Heinke N, Bittmann F. Report on Adaptive Force, A specific neuromuscular function. *Eur J Transl Myol* [Internet]. 2015;25(3):5183. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4081/ejtm.2015.5183>
19. Fousekis K, Tsepis E, Poulmedis P, Athanasopoulos S, Vagenas G. Intrinsic risk factors of non-contact quadriceps and hamstring strains in soccer: a prospective study of 100 professional players. *Br J Sports Med* [Internet]. 2011;45(9):709–14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsm.2010.077560>
20. Witchalls J, Blanch P, Waddington G, Adams R. Intrinsic functional deficits associated with increased risk of ankle injuries: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med* [Internet]. 2012;46(7):515–23. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2011-090137>
21. Kubo K, Ishigaki T, Ikebukuro T. Effects of plyometric and isometric training on muscle and tendon stiffness in vivo. *Physiol Rep* [Internet]. 2017;5(15):e13374. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14814/phy2.13374>
22. Fuller CW, Ekstrand J, Junge A, Andersen TE, Bahr R, Dvorak J, et al. Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2006;16(2):83–92. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00528.x>
23. Pfirrmann D, Herbst M, Ingelfinger P, Simon P, Tug S. Analysis of injury incidences in male professional adult and elite youth soccer players: A systematic review. *J Athl Train* [Internet]. 2016;51(5):410–24. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-51.6.03>



24. Noya, J., & Sillero, M. (2012). Epidemiología de las lesiones en el fútbol profesional español en la temporada 2008-2009. *Arch Med Deporte*, 150(4), 750-66.
25. Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med* [Internet]. 2011;45(7):553–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2009.060582>
26. Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med* [Internet]. 2011;39(6):1226–32. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546510395879>
27. Waldén M, Hägglund M, Ekstrand J. UEFA Champions League study: a prospective study of injuries in professional football during the 2001-2002 season. *Br J Sports Med* [Internet]. 2005;39(8):542–6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2004.014571>
28. Bogdanis GC, Tsoukos A, Methenitis SK, Selima E, Veligekas P, Terzis G. Effects of low volume isometric leg press complex training at two knee angles on force-angle relationship and rate of force development. *EJSS (Champaign)* [Internet]. 2019;19(3):345–53. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2018.1510989>
29. Butler RJ, Crowell HP 3rd, Davis IM. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* [Internet]. 2003;18(6):511–7. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/s0268-0033\(03\)00071-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0268-0033(03)00071-8)
30. McMahon JJ, Comfort P, Pearson S. Lower limb stiffness: Effect on performance and training considerations. *Strength Cond J* [Internet]. 2012;34(6):94–101. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1519/ssc.0b013e3182781b4e>
31. Kanehisa H, Nagareda H, Kawakami Y, Akima H, Masani K, Kouzaki M, et al. Effects of equivolume isometric training programs comprising medium or high resistance on

- muscle size and strength. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2002;87(2):112–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-002-0604-6>
32. Balshaw TG, Massey GJ, Maden-Wilkinson TM, Tillin NA, Folland JP. Training-specific functional, neural, and hypertrophic adaptations to explosive- vs. sustained-contraction strength training. *J Appl Physiol* [Internet]. 2016;120(11):1364–73. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00091.2016>
  33. Andersen LL, Andersen JL, Zebis MK, Aagaard P. Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training? *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2010;20(1):e162-9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00933.x>
  34. Mason L, Kirkland A, Steele J, Wright J. The relationship between isometric mid-thigh pull variables and athletic performance measures: empirical study of English professional soccer players and meta-analysis of extant literature. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. 2021;61(5):645–55. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23736/S0022-4707.20.11205-2>
  35. Tillin NA, Pain MTG, Folland JP. Short-term unilateral resistance training affects the agonist-antagonist but not the force-agonist activation relationship: Neural Adaptations to Short-Term Resistance Training. *Muscle Nerve* [Internet]. 2011;43(3):375–84. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/mus.21885>
  36. Oliveira FBD, Oliveira ASC, Rizzato GF, Denadai BS. Resistance training for explosive and maximal strength: effects on early and late rate of force development. *J Sports Sci Med*. 2013;12(3):402–8.
  37. Holtermann A, Roeleveld K, Vereijken B, Ettema G. The effect of rate of force development on maximal force production: acute and training-related aspects. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2007;99(6):605–13. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-006-0380-9>

38. Tillin NA, Pain MTG, Folland JP. Short-term training for explosive strength causes neural and mechanical adaptations. *Exp Physiol* [Internet]. 2012;no-no. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-445x.2012.01065.x>
  
39. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* [Internet]. 2002;93(4):1318–26. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2002>